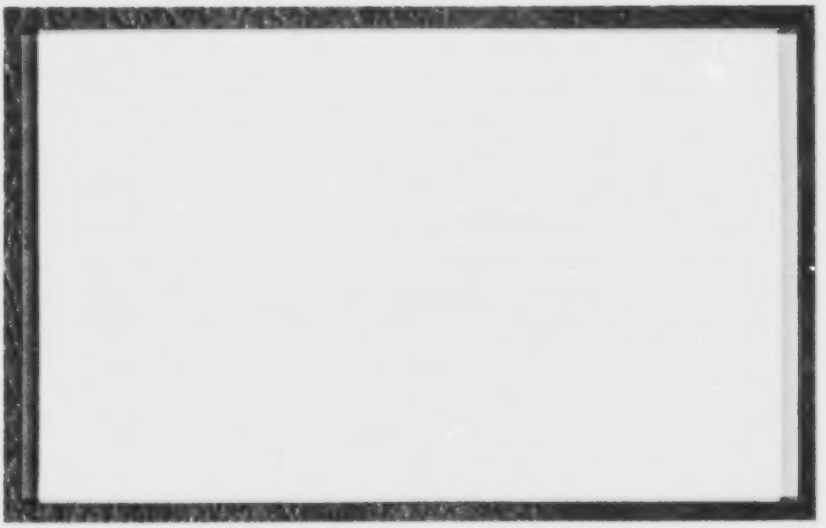
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL



CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC H3C 3J7

CRT-574

UNE AGRÉGATION NOUVELLE DES ITINÉRAIRES DE TRANSPORT AÉRIEN (ANITA)

par

Richard Laferrière

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.) en sciences économiques, dirigée par Marc Gaudry.

Cette étude a été publiée grâce à une subvention du fonds F.C.A.R. pour l'aide et le soutien à la recherche.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #574
Février 1988

Dépôt légal - 2e trimestre 1988

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

"Une Agrégation Nouvelle des Itinéraires de Transport Aérien"

présentée par:

Richard Laferrière

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Claude Montmarquette, Président-rapporteur

Marc Gaudry, directeur de recherche

Marcel Dagenais, membre

Michael Wills, examinateur externe

Thèse acceptée le: 21 avril 1988

RESUME

Cette thèse développe le modèle ANITA (Agrégation Nouvelle des Itinéraires de Transport Aérien) de la demande des déplacements aériens des personnes entre différentes paires de villes canadiennes. Les paramètres sont estimés à partir de données sur les déplacements individuels par Air Canada et CP Air en 1983. Le modèle a quatre dimensions innovatrices. D'abord l'information recueillie pour les déplacements individuels permet:

i) d'introduire le concept d'itinéraire défini comme un ensemble de chemins utilisés à l'intérieur d'une paire origine-destination possédant les mêmes caractéristiques de coût et de temps;

ii) dans certains cas, d'identifier le lieu de résidence des individus.

Par ailleurs, le modèle de demande emprunte sa formulation générale à Kraft et Wohl (1967) mais s'en distingue par:

iii) un traitement de deux types de voyages: les allers-simples et les allers-retours;

iv) la formulation explicite du choix des voyageurs entre les itinéraires d'un marché et la prise en compte des caractéristiques de l'ensemble des itinéraires (ou niveau de service) pour expliquer le niveau de la demande d'un marché.

Ces quatre dimensions, toutes utiles à l'explication de la demande interurbaine par avion, permettent de démontrer deux propositions. La première proposition démontre qu'il existe une différence significative entre les résultats obtenus avec une estimation simultanée des paramètres des modèles de niveau et de part et ceux qui sont obtenus en estimant les paramètres de ces équations séparément.

La seconde proposition établit qu'il est utile de connaître l'origine réelle des déplacements plutôt que d'expliquer simplement les allers observés O_{ij} définis comme suit:

$O_{ij} = T_{iji} + T_{jij} + T_{ij}$.

Nous montrons en effet que les allers-simples sont des biens différents des allers-retours.

La forme générale du modèle de Kraft et Wohl:

$$T_{iji} = f (S_{ij} + S_{ji}, M_{iji}, X_i, X_j; \beta) + \epsilon_{iji}, \quad (1)$$

où T_{iji} représente les allers-retours de la ville i à la ville j;

S_{ij} le niveau de service aérien entre i et j;

M_{iji} un vecteur de variables explicatives défini pour un aller-retour de i à j avec les modes terrestres, ex.: prix, temps, fréquence, etc.;

X_i et X_j des vecteurs de variables socio-économiques qui décrivent les villes i et j respectivement;

β un vecteur de paramètres du modèle;

ϵ_{iji} une erreur résiduelle.

Le modèle ANITA incorpore en plus de l'équation (1) une expression pour les allers-simples T_{ij} et une explication de la répartition des itinéraires (π_{ijt}) à l'intérieur d'un marché:

$$T_{ij} = f (S_{ij}, M_{ij}, X_i, X_j; \gamma) + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

$$\pi_{ijt} = g (\{P_{ijl}, H_{ijl}, F_{ijl}, u_{ijl}; l=1,..,N_{ij}\} ; \theta), \quad (3)$$

où P_{ijl} = prix de l'itinéraire l du marché ij;

H_{ijl} = temps de l'itinéraire l du marché ij;

F_{ijl} = fréquence de l'itinéraire l du marché ij;

u_{ijl} = variable résiduelle de l'itinéraire l du marché ij.

Les paramètres θ de l'équation de répartition des itinéraires font parties intégrantes de la définition du niveau de service aérien S_{ij}.

Le modèle ANITA, qui se compose des équations (1),(2) et (3), appartient à la classe des modèles de demande directe par mode: il s'agit d'un modèle unimodal auquel on a adjoint une équation de répartition. D'autres auteurs ont estimé séparément des équations similaires à (1), (2) et (3); mais nous ne connaissons pas de cas où on estime comme ici conjointement les équations servant à expliquer le *niveau* de variables dépendantes conjointement et l'équation qui explique la *part* d'une variable dépendante.

ABSTRACT

This thesis develops the ANITA model (Air Network Itinerary and Trip Aggregation) to explain the air travel demand between several Canadian city pairs. The parameters are estimated with data on the individual movements of travelers with Air Canada and CP Air during 1983. The model has four innovative dimensions. The information about individual trip movements allows:

i) the formulation of the itinerary concept, defined for each origin-destination pair, as a set of paths actually used that have the same price and travel time characteristics;

ii) in some cases the identification of the travelers' place of residence.

Even though the demand model borrows its general formulation from Kraft and Wohl (1967), two features distinguish it:

iii) the treatment of two kinds of trip: the round trips and the one-way trips;

iv) the explicit formulation of travelers' choice among the itineraries of each origin-destination pair and the utilization of all of the observed characteristics of the itinerary set (or the service level) to explain the level of the aggregated demand for a market.

These four dimensions, all useful to explain the interurban air travel demand, allow the demonstration of two propositions. The first proposition shows the significant difference between the results obtained with a simultaneous estimation of the parameters pertaining to the level and share models over the results from a separate estimation of the level and share equations.

The second proposition establishes the benefits of distinguishing between round trips (T_{iji}, T_{jij}) and one way trips (T_{ij}) instead of explaining the origin-destination trips (O_{ij}) defined as $O_{ij} = T_{iji} + T_{jij} + T_{ij}$.

The general form of the Kraft-Wohl model is:

$$T_{iji} = f (S_{ij}+ S_{ji}, M_{iji}, X_i, X_j; \beta) + \epsilon_{iji}, \qquad (1)$$

where T_{iji} are the round trips from the city i to the city j;

S_{ij} is the air level of service between i and j;

M_{iji} is a vector containing the explanatory variables (price, time, frequency) for a round trip between i and j with ground modes (auto, bus);

X_i and X_j are vectors for the socio-economic variables associated with the cities i and j, respectively;

β is a vector of parameters;

ϵ_{iji} is a residual error.

Besides Equation (1), the ANITA model includes an equation to explain the one way trips T_{ij} and another to describe the share of the itineraries π_{ijt} within a market:

$$T_{ij} = f (S_{ij}, M_{ij}, X_i, X_j; \gamma) + \epsilon_{ij} \qquad (2)$$

$$\pi_{ijt} = g (\{P_{ijl}, H_{ijl}, F_{ijl}, u_{ijl}; l=1,..,N_{ij}\} ; \theta), \qquad (3)$$

where P_{ijl} = price of the itinerary l in the market ij;

H_{ijl} = time of the itinerary l in the market ij;

F_{ijl} = frequency of the itinerary l in the market ij;

u_{ijl} = residual variable of the itinerary l in the market ij.

The parameters θ in the itinerary share equation appear in the definition of the level of service variable S_{ij}.

The ANITA model, defined with Equations (1), (2) and (3), belong to the class of direct demand model by mode: this is a one mode model to which we add a share equation. Several authors have estimated separately equations similar to (1), (2) and (3), but we know no cases whith a simultaneous estimation of the equations to explain the *level* of the dependent variables and an equation describing the *share* of the dependent variable.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....i
ABSTRACT.....iii
LISTE DES TABLEAUX.....viii
DEDICACE.....ix
REMERCIEMENTS.....x
INTRODUCTION.....1
1. TERMINOLOGIE.....2
2. SOURCES DES DONNEES DISPONIBLES ET ECHANTILLON CHOISI.....5
3. UNE AGREGATION NOUVELLE DES ITINERAIRES DE TRANSPORT AERIEN.....10
3.1 MODELE ANITA.....10
3.2 LES VARIABLES DEPENDANTES.....16
3.3 LES VARIABLES EXPLICATIVES.....19
3.3.1 LES VARIABLES DU NIVEAU DE SERVICE AERIEN.....19
3.3.1.1 PRIX.....20
3.3.1.2 TEMPS.....22
3.3.1.3 FREQUENCE.....22
3.3.2 LES VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.....25
3.3.3 LES ATTRIBUTS DES AUTRES MODES.....27
3.4 MODELES ORIGINE-DESTINATION.....29
3.4.1 EFFETS DIRECTIONNELS GENERALISES RESEAUX.....32
3.4.2 EFFETS DIRECTIONNELS GENERALISES SOCIO-ECONOMIQUES.....33
3.4.3 EFFETS NON DIRECTIONNELS RESEAUX.....35
3.4.4 EFFETS DIRECTIONNELS PARTICULIERS RESEAUX.....36
3.4.5 EFFETS NON DIRECTIONNELS SOCIO-ECONOMIQUES.....36
3.4.6 EFFETS DIRECTIONNELS PARTICULIERS SOCIO-ECONOMIQUES.....37
3.4.7 TESTS STATISTIQUES DE LA DESAGREGATION.....39
3.5 ITINERAIRE ET AGREGATION DE L'INFORMATION DU RESEAU.....42
4. FONCTIONS DE VRAISEMBLANCE.....46
4.1 FONCTION DE VRAISEMBLANCE DU MODELE ANITA.....46
4.2 FONCTION DE VRAISEMBLANCE SOUS CONTRAINTES.....52

5. DESCRIPTION DES BANQUES DE DONNEES.....56
5.1 VARIABLES EXPLICATIVES ET DEPENDANTES DU MODE AERIEN.....56
5.1.1 CORRECTION DES DONNEES.....57
5.1.2 JUMELAGE DE L'INFORMATION DE L'OFFICIAL AIRLINE GUIDE.....58
5.1.3 REGROUPEMENT DES COUPONS APPARTENANT AU MEME VOYAGE.....59
5.1.4 DETERMINATION DES DESTINATIONS A L'INTERIEUR DES VOYAGES..60
5.1.5 IDENTIFICATION DES ITINERAIRES.....61
5.2 VARIABLES EXPLICATIVES DU MODE AUTOBUS.....64
5.3 VARIABLES EXPLICATIVES DU MODE AUTO.....65
5.4 VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.....66

6. ESTIMATION EMPIRIQUE DU MODELE.....67
6.1 VARIABLES EXPLICATIVES RETENUES.....67
6.1.1 RESEAU AERIEN.....67
6.1.2 RESEAU DES AUTRES MODES.....68
6.1.3 SOCIO-ECONOMIQUES.....69
6.2 CHEMINEMENT DE LA SPECIFICATION DU MODELE.....70
6.2.1 PREAMBULES.....70
6.2.1.1 FORME FONCTIONNELLE.....70
6.2.1.2 CLASSE TARIFAIRE.....70
6.2.1.3 INVERSE POWER TRANSFORMATION.....71
6.2.2 SPECIFICATION DU MODELE.....71
6.2.2.1 RESEAU AERIEN.....71
6.2.2.2 RESEAU DES AUTRES MODES.....73
6.2.2.3 VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.....75
6.3 PRESENTATION DES RESULTATS.....76
6.3.1 PREAMBULES.....76
6.3.1.1 FORME ESTIMEE.....76
6.3.1.2 ELASTICITES.....77
6.3.1.3 ESTIMATION CONDITIONNELLE.....78
6.3.2 BENEFICES DE L'ESTIMATION SIMULTANEE.....79

6.3.3 ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE DE REFERENCE.....84
6.3.3.1 RESEAU AERIEN.....84
6.3.3.2 RESEAU DES AUTRES MODES.....85
6.3.3.3 VARIABLES SOCIO-ECONMIQUES.....86
6.3.4 BENEFICES DE LA DESAGREGATION DES ALLERS.....86
6.3.4.1 FORMULATIONS CONVENTIONNELLES.....87
6.3.4.2 EGALITES DES COEFFICIENTS RESEAUX.....90
6.3.4.3 RESUME.....91

7. EXTENSIONS DU MODELE ANITA.....93
7.1 ECHANTILLON COMPLET.....93
7.2 DECOMPOSITION DE L'ERREUR.....94
7.3 TRANSFORMATION DE BOX-COX.....96
7.4 SELECTION DES ITINERAIRES.....97
7.5 INVERSE POWER TRANSFORMATION.....97

8. CONCLUSIONS.....98
9. BIBLIOGRAPHIE.....100

ANNEXE.....106

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 Elasticités et valeurs de vraisemblance.....84

FIGURE 1 Classification des modèles pour les allers.....34

A SOPHIE ET ARTHUR

REMERCIEMENTS

Il est difficile d'exprimer en quelques mots mon appréciation de la diligence de mon directeur de thèse, M. Gaudry. Sa générosité et sa disponibilité ont témoigné, tout au long de sa direction, d'une générosité incommensurable. Je lui en dois toute ma reconnaissance.

Durant l'année sabbatique de M. Gaudry la direction de ma thèse fut assurée par M. Dagenais. Je l'en remercie et garderai un souvenir impérissable de sa rigueur de pensée et de son enthousiasme.

La collaboration d'Air Canada fut obtenue par l'entremise de M. Samuel Arnold. Je le remercie de sa compréhension et de son aide. Je dois souligner la précieuse collaboration de M. Kent James. D'Air Canada je remercie également: Mme Donaldsen, M. Tetley, M. Daniel Roy et M. Arthur Fischer.

La collaboration et l'appui de CP Air furent assurés par l'entremise de M. Brent Statton. La compétence et l'attention de M. D.W. Johnston m'ont été indispensables.

J'ai reçu une aide spéciale du Centre de calcul de l'Université de Montréal. Je tiens à remercier plus particulièrement son chef de service M. Ronald Bilodeau, les analystes M. Yves Courcelles et Mme Lise Robillard.

Le mécénat de différents organismes m'ont permis d'effectuer cette thèse. Je remercie à cet égard: le Ministère des Transports du Québec, Transports Canada, L'Université de Montréal et le Centre de Recherche sur les Transports de l'Université de Montréal.

Mes remerciements envers mon épouse Sophie Mahseredjian porte tout d'abord pour la patience et le support moral qu'elle et notre fils Arthur m'ont témoignés tout au long de ce projet et, pour les milliers de conseils concernant cette thèse.

INTRODUCTION

Cette thèse propose le développement de deux points négligés dans la littérature concernant la demande de transport aérien des passagers: l'influence du lieu de résidence des voyageurs et le regroupement des multiples caractéristiques observées. L'information diffusée au Canada et aux Etats-Unis porte sur le nombre de personnes qui originent d'une ville et se dirigent vers une autre. Cela ne distingue pas les voyageurs qui retournent au lieu de résidence de ceux qui se déplacent du lieu de résidence.

Le modèle de demande retenu offre une explication différenciée selon le type de voyages accomplis, c'est-à-dire les voyages complétés et incomplets. Seuls les voyages complétés peuvent indiquer le lieu probable de résidence des voyageurs. Pour tout marché l'explication offerte du nombre de voyages complets et incomplets provient du niveau de service aérien de ce marché, des variables socio-économiques relatives aux villes du marché, et des caractéristiques d'un voyage avec les modes auto et autobus.

Nous nous proposons de comparer empiriquement le modèle de demande calibré avec l'information privilégiée dont nous disposons à ceux obtenus avec l'information diffusée par Statistique Canada ou par l'Official Airline Guide. Pour ce faire nous définissons les données publiées, les allers, avec les variables dépendantes du modèle ANITA, soit: les voyages complétés et incomplets. Par substitution nous obtenons le modèle de demande des allers sous-jacent au modèle de demande ANITA. La formulation de ce modèle généralise celles des modèles de demande déjà proposées dans la littérature. Nous proposons un test statistique pour montrer le gain d'une spécification plus générale.

En vue d'estimer la demande agrégée d'un marché, nous avons dû avoir recours à une procédure d'agrégation des différentes valeurs de prix et de temps observées à l'intérieur des marchés. La procédure d'agrégation proposée constitue un des éléments innovateurs de cette thèse. Plutôt que de définir un seul prix, un seul temps ou une seule fréquence représentative d'un marché, nous avons développé une méthode qui identifie les valeurs les plus "significatives" et qui les utilise pour l'explication de la demande agrégée d'un marché. La différence majeure entre l'approche que nous préconisons et celle habituellement retenue repose sur la reconnaissance explicite du choix des voyageurs entre différents chemins possibles pour effectuer un voyage. Le choix des chemins sert à définir un niveau de service de l'ensemble de choix qui influencera la demande agrégée.

Après avoir défini les termes utilisés tout au long de cette thèse (chapitre 1) nous donnons une brève présentation des données disponibles sur le transport aérien et de la banque de données que nous avons constitué (chapitre 2). Celle-ci concerne l'information de tous les voyages effectués avec Air CAnada et CP Air. Les sections 3.1, 3.2 et 3.3 servent à décrire le modèle de demande ANITA. La section 3.4 contient le modèle des allers sous-jacent au modèle ANITA ainsi qu'une classification des modèles des allers proposés dans la littérature. L'agrégation des caractéristiques des voyages individuels constitue le sujet de la section 3.5 . La fonction de vraisemblance du modèle de demande ANITA et ses dérivées sont contenues dans le chapitre 4. On y retrouve aussi la procédure suivie pour l'élaboration des tests statistiques. Le chapitre 5 est consacré à la présentation détaillée de notre banque de données. Le chapitre 6 présente les résultats du modèle de base et ceux avec des formulations conventionnelles. Nous élaborons au chapitre 7 des extensions possibles au modèle de demande ANITA. Et finalement, la conclusion de cette thèse termine cet ouvrage.

CHAPITRE I
TERMINOLOGIE

Pour faciliter la lecture des prochains chapitres, nous donnons ci-dessous la signification des vocables retenus.

Ville : Une agglomération urbaine au sens large. Une ville peut signifier une région métropolitaine ou une agglomération selon le recensement de Statistique Canada de 1981.

Segment d'un vol: un segment d'un vol sera défini par:

i) le transporteur aérien et le numéro du vol;
ii) le type d'appareil;
ii) l'heure du départ et celle de l'arrivée;
iv) la ville du départ et celle de l'arrivée;
v) les journées de la semaine où le segment d'un vol est mis en service;
vi) les classes tarifaires;
vii) les dates d'entrée en vigueur et d'expiration pour circonscrire la période d'application du segment d'un vol.

Réseau aérien : le réseau aérien d'une journée particulière est défini par l'ensemble des segments des vols alors disponibles.

Chemin : un chemin correspond à un enchaînement particulier des segments des vols entre deux villes. Les caractéristiques d'un chemin sont :

i) les transporteurs aériens et les numéros des vols;
ii) les types des appareils;
iii) les heures des départs et des arrivées;
iv) les villes des départs et des arrivées;
v) les journées de la semaine communes aux segments des vols;
vi) une seule classe tarifaire[1];
vii) la date de début et de fin de la période durant laquelle le segment est offert.

Aller : un aller en avion représente une décision individuelle d'utiliser un chemin entre deux villes dont la première se dénommera ville d'origine ou origine et la seconde, ville de destination ou destination. Cette paire de villes ordonnées associée aux allers sera désignée dans le texte par le mot marché. Un arrêt à une ville peut survenir dans le cas d'une destination si l'arrêt excède 2½ heures; autrement, un arrêt correspond à un transfert ou à une escale. La destination se distingue des autres arrêts puiqu'elle correspond à un arrêt prolongé et intentionnel de la part de l'individu. L'aller représente le bien qu'un individu "consomme". Un chemin correspond donc à une façon particulière de "consommer" un aller.

---

1 Bien qu'en principe un chemin puisse comporter plusieurs classes tarifaires, il lui en sera imputé une seule et la moins favorable. On discutera davantage de ce point plus loin.

Voyage : un voyage en avion comprend un ou plusieurs allers. Il est complété si la destination du dernier aller correspond à l'origine du premier aller. Si le voyage ne comprend qu'un seul aller c'est un aller-simple. Un aller-retour est un voyage complété avec deux allers. Il s'ensuit que les allers pour un marché ij se décomposent en quatre parties: les allers-retours iji, les allers-retours jij, les allers-simples ij et les voyages comportant une chaîne de plus de deux allers dont l'un est ij.

Fréquence : l'occurence d'un service qui provient de la période d'application et des journées de la semaine où ce service est offert pendant une année.

Itinéraire : un itinéraire entre une origine et une destination désigne tous les chemins avec le même temps de trajet (la différence entre l'heure de l'arrivée et l'heure du départ ajustée des changements possibles de fuseaux horaires), le même prix, la même classe tarifaire et le même nombre d'arrêts. La fréquence d'un itinéraire provient de la somme des fréquences des chemins qui le constituent durant une année. Seuls les itinéraires utilisés par les voyageurs sont considérés.

Flux : le flux de passagers de la ville i à la ville j est une somme construite à partir des déplacements sur tous les chemins utilisés avec un segment d'un vol pour la ville de départ i et celle d'arrivée j.

CHAPITRE II

SOURCES DE DONNEES DISPONIBLES ET ECHANTILLON CHOISI

En vue de mettre en relief les différences de notre banque de données par rapport à celles disponibles auprès d'agences gouvernementales et ainsi de présenter les nouvelles possibilités qu'elle offre, nous débutons par une présentation des méthodologies suivies pour constituer celles qui existent.

Statistique Canada (S.C.) publie annuellement un périodique intitulé "Origine et destination des passagers aériens, rapport sur le traffic intérieur", catalogue 51-204. La réalisation de ce périodique est rendue possible grâce à la Loi sur l'aéronautique qui oblige les transporteurs aériens transcontinentaux et régionaux à fournir la liste des noms des villes sur les billets dont les numéros se terminent par zéro s'ils en utilisent le premier coupon. Par la suite, S.C. dérive de la liste un maximum de deux allers pour chacun des billets ainsi sélectionnés. L'origine du premier aller est la première ville de la liste (v_1) et la destination est la ville de la liste (v_2) la plus éloignée de v_1. S'il y a lieu, le deuxième aller est de v_2 à la dernière ville de la liste (v_3).

Par exemple, pour deux billets (B1, B2) dont les listes des villes seraient:

B1 Montréal-Toronto-Winnipeg-Montréal;

B2 Winnipeg-Ottawa-Québec-Toronto,

S.C. en dériverait les allers suivants:

B1 v_1=Montréal, v_2=Winnipeg;

B1 v_2=Winnipeg, v_3=Montréal;

B2 v_1=Winnipeg, v_2=Québec;

B2 v_2=Québec, v_3=Toronto.

Les limites de cette méthodologie pour analyser la demande des passagers du transport aérien sont:

i) aucune caractérisation (prix, temps, classe tarifaire, fréquence) des chemins utilisés;

ii) une sous-estimation du nombre de destinations dans les voyages. Dans l'exemple ci-haut, même si des arrêts excédant 2½ heures survenaient à Toronto et Ottawa, qui devraient dès lors être considérées comme des destinations, la procédure de S.C. ne les percevrait pas comme tels;

iii) le motif et la classe tarifaire des voyages sont ignorés;

iv) une impossibilité d'associer une interprétation particulière aux villes d'origine ou de destination, puisqu'avec les allers de S.C. l'origine ou la destination peuvent correspondre au lieu de résidence des voyageurs. On peut concevoir que certains attributs socio-économiques des villes conviennent mieux à décrire la génération des voyages des résidents tandis que d'autres peuvent expliquer leurs attractions. Les données de S.C. ne permettent pas de mesurer l'influence de tels attributs. A ce sujet, Pinton(1967, p.78) émet l'opinion qu'avec des données similaires on ne peut que mesurer l'attraction mutuelle entre les villes et spécifier un modèle où l'effet d'une variable socio-économique utilisée en origine est le même que si elle est utilisée en destination. Long (1968, p.200) abonde dans le même sens en signalant qu'il est impossible de distinguer entre les voyageurs qui vont à la ville A de la ville B de ceux qui retournent à la ville A de la ville B. Il en conclut comme Pinton à une absence de différences entre l'effet des variables socio-économiques associées à l'origine et celles associées à la destination.

Nous devons souligner que la procédure décrite fut établie aux Etats-Unies par le Civil Aeronautic Board et est utilisée par S.C. depuis 1960.

Il existe aussi aux Etats-Unis des données relatives aux flux des passagers entre les aéroports, dont certains auteurs se sont servis pour analyser la demande de transport aérien. Le flux de personnes entre deux aéroports correspond à l'ensemble des chemins avec un segment d'un vol pour le déplacement entre ces deux aéroports. La principale lacune de cette information concerne une absence complète de signification à attribuer aux "origines" et aux "destinations" des flux, puisqu'elles peuvent correspondre tout aussi bien à des villes de transfert ou à des escales qu'aux origines ou aux destinations des chemins.

Procédons maintenant à la présentation de la méthodologie adoptée dans la formation de la banque de données que nous avons constituée. Cette banque de données devrait comprendre l'ensemble des déplacements aériens avec les transporteurs régionaux et nationaux. Nos efforts jusqu'à ce jour nous ont permis d'obtenir seulement la collaboration d'Air Canada et de CP Air, et ce pour diverses raisons, dont celle de confidentialité. Les deux transporteurs nationaux ont mis à notre disposition l'ensemble des coupons (environ 12,000,000) utilisés par leurs clients durant l'année 1983.

On retrouve sur un coupon:

i) le numéro du billet;
ii) le numéro du coupon;
iii) la date d'utilisation du coupon;
iv) le code du transporteur et le numéro du vol;
v) le prix du voyage;
vi) la classe tarifaire du coupon;
vii) la ville du départ et celle d'arrivée associées au coupon.

Avec les numéros des vols et les dates, on assigne à chaque coupon les heures du départ et de l'arrivée, et les journées d'opération pendant la semaine du vol. Ces informations proviennent de l'Official Airline Guide-North American Edition (1983)(OAG).

On identifie les coupons d'un voyage en appliquant principalement deux règles:

i) tous les coupons d'un billet (maximum de quatre) possèdent le même numéro;

ii) si un voyage nécessite plusieurs billets, ils ont des numéros consécutifs.

Cette banque de données ainsi constituée nous permet :

i) une description complète des chemins utilisés en vue de traiter de l'agrégation de leurs caractéristiques. En effet, un des objectifs de cette thèse est d'agréger les caractéristiques des chemins empruntés pour effectuer les allers de manière rigoureuse plutôt que d'utiliser des mesures ad hoc;

ii) une identification plus juste des allers dans les voyages. Au-delà d'un certain laps de temps (2½ heures) nous considérons une ville d'arrêt comme une destination plutôt qu'une escale ou un transfert. Le nombre d'allers dans un voyage ne se limite donc pas à deux comme pour S.C.. Nous jugeons cette règle préférable à celle de retenir uniquement la ville la plus éloignée. Cette dernière méthode sous-estime le nombre de destinations d'environ 10% pour notre échantillon. Toutefois, le modèle de demande ANITA dans sa formulation actuelle ne considère pas le cas des voyages avec plus de deux allers. Il serait alors nécessaire d'expliquer la séquence des destinations choisies comme le suggèrent Burnett et Hanson (1982, p.89). Etant donné le nombre relativement faible de ces voyages (moins de 3%) et la complexité accrue qu'engendrerait leur traitement, nous avons décidé de les omettre de notre analyse. Dans une situation similaire Pinton (1967) exclut les voyageurs ayant plusieurs motifs de déplacements, 18% dans son cas, à cause, explique-t-il, de la difficulté de les relier à de simples facteurs socio-économiques;

iii)de reconnaître le lieu de résidence des voyageurs. Nous divisons les voyages en deux: ceux dits complétés et les incomplets[2]. Dans le cas d'un voyage complété nous identifions le lieu de résidence à la première ville (qui est aussi, par définition, la dernière) du voyage. Cette distinction donne un tout nouveau sens aux variables socio-économiques. Cela nous permet de différencier les variables qui génèrent des déplacements de celles qui en décrivent les attraits et de mesurer les effets distincts des variables qui servent à la génération et à l'attraction;

iv) une explication de la demande par classe tarifaire. Pinton (1967) a démontré empiriquement que pour le transport ferroviaire des passagers, du moins, il existe des différences significatives de spécifications des demandes selon le motif des déplacements. Nous croyons que le même phénomène peut survenir avec la demande de transport aérien par classe tarifaire. Même si nous formulons un modèle par classe tarifaire l'estimation se fera en regroupant toutes les classes tarifaires.

---

2 Les voyages incomplets peuvent survenir dans les cas des déplacements multi-modaux, des déplacements effectués avant le début de la période d'échantillonnage ou débutés à la fin de la période, de l'achat des coupons au fur et à mesure aux aéroports, et des voyages complétés avec des transporteurs manquants à notre échantillon.

CHAPITRE III

Une Agrégation Nouvelle des Itinéraires de Transport Aérien (ANITA)

Dans ce chapitre, nous présentons le modèle de la demande agrégée de transport aérien ANITA. La première section formule le modèle ANITA et le décrit brièvement. L'analyse détaillée du modèle et une revue de la littérature sont reportées aux sections suivantes. Dans la deuxième section nous discutons de la mesure retenue pour la variable dépendante. A la section 3.3 nous spécifions et présentons les variables explicatives présentes dans le modèle. Le modèle des allers sous-jacent au modèle ANITA se retrouve dans la section 3.4. La section 3.5 décrit l'agrégation des variables du réseau aérien spécifié par le modèle ANITA. Le traitement stochastique des termes d'erreurs du modèle sera exposé à la section 3.6.

3.1 MODELE ANITA

Les variables dépendantes du modèle sont:

T^c_{iji} = nombre d'allers-retours du marché ij avec la classe tarifaire c;

T^c_{ij} = nombre d'allers simples entre l'origine i et la destination j avec la classe tarifaire c;

$\frac{O^c_{ijt}}{O^c_{ij}}$ = la part du nombre d'allers entre l'origine i et la destination j avec l'itinéraire t appartenant à la classe tarifaire c (O^c_{ijt}) dans les allers de la classe tarifaire c entre l'origine i et la destination j (O^c_{ij}).

Les équations (3.1) à (3.3) expriment la forme et les catégories des variables qui expliquent les variables dépendantes.

III.Une Agrégation Nouvelle
3.1 Modèle ANITA

$$T^c_{iji} = \beta^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji}) \beta^c_1 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji}) \beta^c_2 + X_i \beta^c_3 + X_j \beta^c_4 + (M_{ij} + M_{ji}) \beta^c_5 + X_{ij} \beta^c_6 + \epsilon^c_{iji} \quad (3.1)$$

$$T^c_{ij} = \gamma^c_0 + S^c_{ij}\gamma^c_1 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_2 + X_i\gamma^c_3 + X_j\gamma^c_4 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}\gamma^c_6 + \epsilon^c_{ij} \quad (3.2)$$

$$\frac{O^c_{ijt}}{O^c_{ij}} = \frac{[\,(\lambda^c_{1PT} \exp(Z^c_{ijt}\theta) + 1)^{1/\lambda^c_{1PT}} + \mu^c_{1PT}]\ \exp(u^c_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n^c_{ij}} [\,(\lambda^c_{1PT} \exp(Z^c_{ijv}\theta) + 1)^{1/\lambda^c_{1PT}} + \mu^c_{1PT}]\ \exp(u^c_{ijv})}, \quad (3.3)$$

$$S^c_{ij} \equiv \log\{\sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(Z^c_{ijv}\theta)\}, \quad (3.4)$$

$$S^{c'}_{ij} \equiv \log\{\sum_{v=1}^{n^{c'}_{ij}} \exp(Z^c_{ijv}\theta)\}, \quad (3.5)$$

où

$Z^c_{ijt} = (F^c_{ijt}, P^c_{ijt}, H^c_{ijt}, 1.)$

$\theta' = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$

n_{ij} = le nombre d'itinéraires utilisés par les allers ij($\equiv n^c_{ij} + n^{c'}_{ij}$);

n^c_{ij} = le nombre d'itinéraires de la classe tarifaire c utilisés par les allers ij;

$n^{c'}_{ij}$ = le nombre d'itinéraires utilisés par les allers ij avec les classes tarifaires différentes de c.

i,j = 1,...,n, et $i \neq j$; c = 1,..,C;

C = le nombre de classes tarifaires;

n = le nombre de villes considérées dans l'échantillon.

Les paramètres des équations (3.1)-(3.3) sont:

β^c_k, γ^c_k, k=0,...,6; θ_k, k=1,...,4; λ^c_{1PT}, μ^c_{1PT}.

X^c_i, M^c_{ij}, X^c_{ij} sont des vecteurs lignes; tandis que β^c_k, γ^c_k et θ_k sont des vecteurs lignes. Les dimensions des vecteurs sont omises à dessein, dans le but de faciliter la communication entre l'auteur et le lecteur.

III.Une Agrégation Nouvelle
3.1 Modèle ANITA

Les équations (3.1) et (3.2) explicitent la forme et les catégories employées pour les variables explicatives des deux genres de voyages retenus: les allers-retours et les allers-simples par classe tarifaire. La forme générale de ces deux équations provient de celle proposée par Kraft et Wohl (1967). Kraft et al.(1968) en ont fait une estimation pour les déplacements urbains tandis que Peers et Bevilacqua (1976) l'ont appliquée aux voyages interurbains. Habituellement on identifie cette forme comme étant la demande directe par mode en raison de l'analyse simultanée de la génération, de l'attraction et de la distribution des déplacements pour un mode de transport donné. L'équation (3.3) du modèle ANITA sert à répartir les allers entre les itinéraires en des ensembles de chemins ayant quelques caractéristiques identiques.

Comme son nom l'indique, le modèle ANITA postule une agrégation des caractéristiques pour les itinéraires utilisés. Les équations (3.4) et (3.5) portent sur la description de cette agrégation. Puisque l'estimation des paramètres de (3.1)-(3.3) s'effectue conjointement, les paramètres de l'agrégation ($\theta_1,\ldots,\theta_4$) associés aux caractéristiques des chemins fréquentés servent à identifier à la fois l'influence de ces caractéristiques sur le <u>niveau</u> des allers-retours et des allers-simples, et à reconnaître le rôle des mêmes caractéristiques sur la <u>répartition</u> des itinéraires. L'agrégation proposée permet de distinguer, pour toute caractéristique, entre son effet sur le choix d'un itinéraire et son effet sur le niveau total des déplacements. Deux propriétés intéressantes découlent de cette agrégation: a)l'ensemble des chemins utilisés sont retenus pour définir l'indice de service; b)la prise en compte implicite, par le biais de la définition des itinéraires, de la multitude observée des classes tarifaires[3].

---

3 Puisqu'un itinéraire ne peut comporter des chemins avec des prix différents, il ne peut correspondre qu'à une seule classe tarifaire. Il en découle que plusieurs classes tarifaires réelles sont regroupées à l'intérieur des classes tarifaires (c) explicitées par le modèle ANITA.

Nous proposons à la section 3.4 une démonstration empirique du gain à distinguer les allers-retours des allers-simples. Cette démonstration repose sur la définition même des allers d'un marché. Nous rappelons que pour l'échantillon retenu, les allers (O^c_{ij}) du marché ij sont construits à partir des allers-retours de la ville i (T^c_{iji}), des allers-retours de la ville j (T^c_{jij}) et des allers-simples de i à j (T^c_{ij}),[4]

$$O^c_{ij} = T^c_{iji} + T^c_{jij} + T^c_{ij}. \qquad (3.6)$$

Avec ce regroupement des équations (3.1) et (3.2) il nous est alors possible d'exprimer la forme du modèle des allers qui résulte du modèle ANITA. Avec quelques restrictions on peut en déduire différentes formes connues des modèles pour les allers et c'est par rapport à chacune d'elles que la mesure du gain à distinguer les allers-retours des allers-simples sera posée.

Les variables explicatives des équations (3.1), (3.2) et (3.3) se regroupent en quatre catégories, nommément:

i) les caractéristiques des itinéraires

Chaque itinéraire d'un marché possède une ou plusieurs caractéristiques qui le distingue des autres itinéraires de ce marché. Les variables qui servent à définir un itinéraire sont:

F^c_{ijt} = la fréquence de l'itinéraire t pour l'aller ij de la classe tarifaire c;

P^c_{ijt} = le prix de l'itinéraire t pour l'aller ij de la classe tarifaire c;

4 Puisque nous ignorons les voyages complétés avec plusieurs destinations (voir chapitre 2), (3.6) apparaît avec un signe d'égalité plutôt que d'identité.

H^c_{ijt} = le temps requis par l'itinéraire t pour l'aller ij de la classe tarifaire c;

ii) le niveau de service aérien

Le nombre d'allers-retours de i vers j du modèle ANITA est influencé par l'indice du niveau de service pour les marchés ij et ji ($S^c_{ij} + S^c_{ji}$) contrairement aux allers-simples de i vers j qui sont spécifiés n'être sensibles qu'au niveau de service de ce marché (S^c_{ij})[5]. De plus, la demande des voyages pour une classe tarifaire est influencée par le niveau de service de cette classe tarifaire (S^c_{ij}) et de toutes les autres classes tarifaires ($S^{c'}_{ij}$). L'indice du niveau de service aérien pour un marché ij est constitué de l'ensemble des caractéristiques (F^c_{ij} ,P^c_{ij} ,H^c_{ij}) des itinéraires utilisés ($n^c_{ij}+n^{c'}_{ij}$).

iii) les facteurs socio-économiques

Les variables explicatives socio-économiques des équations (3.1) et (3.2) se retrouvent dans les vecteurs X_i et X_{ij}. Une précision concernant la notation retenue serait de mise. Nous anticipons que certaines variables socio-économiques qui expliqueront la génération des déplacements seront différentes de celles qui en expliqueront l'attraction. De même, les variables qui influencent les allers-retours peuvent être en partie différentes de celles de l'équation des allers-simples. On peut aussi s'attendre à ce que ces listes changent selon la classe tarifaire. Même si dans l'écriture des équations (3.1) et (3.2) le même vecteur (X) est utilisé, ce que nous venons de

---

5 L'omission de S_{ji} dans l'équation des allers-simples traduit notre intention de ne pas tenter d'expliquer pourquoi la partie retour de l'aller est absente. De même nous omettons les niveaux de service des autres marchés dans l'explication du marché ij.

discuter se réalisera si certains paramètres des vecteurs β et γ sont nuls.

iv) les attributs des autres modes de transport

Les caractéristiques d'un aller avec deux des modes substituts à l'avion, auto et autobus, composent le vecteur M_{ij} . Les temps, prix, nombres d'arrêts et les nuitées pour les modes auto et autobus avec la fréquence de l'autobus en sont les éléments. Tout comme les variables socio-économiques, la spécification détaillée des caractéristiques par classe tarifaire et par type de voyages est contenue dans les valeurs a priori de certains coefficients des vecteurs β_s et γ_s.

3.2 LES VARIABLES DEPENDANTES

Nous discutons dans cette section des différentes dimensions et mesures des déplacements aériens des personnes.

Puisqu'un des objectifs de la présente thèse concerne l'identification des caractéristiques socio-économiques propres aux lieux de résidence et à ceux visités, nous privilégierons une coupe transversale à des séries chronologiques. L'inexistence de descriptions urbaines adéquates, telles l'emploi et le revenu, pour plusieurs périodes de temps justifie en partie notre choix. En effet, la seule information satisfaisante, au niveau urbain dans le cas du Canada, provient du recensement de Statistique Cananda effectué deux fois par décennie.

Deux descriptions des déplacements interurbains en avion sont publiées périodiquement: les flux et les allers. Les flux entre la ville A et la ville B, nous le rappelons, sont tous les chemins avec un segment d'un vol entre A et B, et les villes A et B ne correspondent pas nécessairement aux origines ou aux destinations des chemins. Plusieurs auteurs discutent des inconvénients d'utiliser les flux des passagers pour estimer un modèle de demande. Pinton (1967,p.78) et Straszheim (1978) signalent la présence d'un trafic parasitique peu relié aux caractéristiques socio-économiques des villes définissant les flux et qui causerait un biais dans l'analyse. Abrahams (1980,p.23) mentionne que les segments des vols réflètent uniquement les décisions des transporteurs aériens et non celles des individus, ce qui affiche théoriquement leur inutilité pour une analyse de la demande. Toutefois, il se peut dans certains cas, à cause de la géographie des villes, que les flux coïncident assez bien avec les allers. Mentionnons quelques études qui utilisent les flux des passagers : Abrahams (1980), Kanafani et al. (1975), Keesler (1965), Lansig et al. (1961), Olson et Trapani (1981a,1981b), Oum (1984) et Verlerger (1972).

Cependant la grande majorité des études avec des coupes transversales en transport aérien se basent sur les allers tels que publiés par S.C.. Les allers réflètent davantage le choix des individus que les flux, puisque les villes d'origine et de destination correspondent à des arrêts intentionnels de la part des individus, sans qu'on puisse en identifier le lieu de résidence, comme nous l'avons vu dans le chapitre I. Pinton (1967, p.108) remarque à ce sujet qu'une mesure adéquate du trafic correspondrait aux déplacements des résidents de la ville i vers la ville j en vue d'analyser plus précisément les facteurs socio-économiques susceptibles d'en rendre compte. Kraft et Wohl (1967) ont, en fait, la même idée en formulant un modèle de demande des allers-retours pour lesquels les villes d'origine sont identifiées aux lieux de résidence. Quelques études avec les données origine-destination se trouvent dans: Andrikopoulos (1980), Brown Watkins (1968), Darrow Wilson (1976), De Vany (1974), Ericksen et al. (1976), Howrey (1969), Ippolito (1981), Kanafani (1975), Long (1968, 1970), CTC (1976), Rugg (1972), Sobieniak (1972).

Dans sa formulation actuelle, le modèle de demande ANITA est basé sur les allers-retours et les allers-simples. Notre décision d'incorporer simultanément les voyages complétés pour lesquels on peut présumer le lieu de résidence des voyageurs et les voyages incomplets, auxquels on ne peut associer aucune interprétation aux origines et aux destinations, nous différencie des autres auteurs qui, en analysant les allers, les ont considérés indistinctement.

Avec les variables dépendantes retenues (T^c_{iji}, T^c_{ij}, O^c_{ijt}/ O^c_{ij}), le modèle de demande ANITA se classe parmi les modèles de demande directe, puisqu'il traite simultanément la génération et l'attraction des déplacements aériens, c.à.d. $\sum_j \sum_c (T^c_{iji} + T^c_{ij})$ et $\sum_i \sum_c (T^c_{iji} + T^c_{ij})$, la distribution implicite des déplacements générés et attirés et la répartition modale. En vue de fournir une explication aux flux observés d'un réseau, on postule généralement un modèle de choix des chemins disponibles. L'équation (3.3) du modèle ANITA considère partiellement cette étape puiqu'elle répartit les allers parmi des itinéraires qui sont un regroupement partiel des chemins. Donc le modèle ANITA traite indirectement les itinéraires utilisés pour les allers (O^c_{ijt}).

En résumé, les caractéristiques du modèle ANITA sont donc les suivantes:

i) il contient un modèle de choix entre des itinéraires, et donc par définition des itinéraires, une affectation d'ensembles de chemins;

ii) il comporte deux équations qui expriment une explication unimodale de type directe (génération, attraction, distribution et répartition);

iii) le produit de i) et ii) représente simultanément les quatre étapes (génération, attraction, distribution, répartition et affectation) de la procédure classique pour les allers. En supposant une indépendance par catégories de demandes de la répartition des itinéraires nous pouvons obtenir les quatre étapes pour les allers-simple et les allers-retours.

3.3 LES VARIABLES EXPLICATIVES

Dans cette section nous présentons les variables explicatives du modèle ANITA. Pour fins de présentation nous les classons en trois catégories, soit:
les variables du niveau de service aérien;
les caractéristiques socio-économiques des villes;
les attributs des autres modes.

3.3.1 LES VARIABLES DU NIVEAU DE SERVICE AERIEN

Long (1969) définit les caractéristiques des biens comme des proriétés objectives et pertinentes aux choix des biens effectués par les individus. Pour le service aérien il dresse la liste suivante: le prix du voyage, la classe tarifaire, le nombre d'arrêts, les heures de départ et d'arrivée, les fréquences des vols, le genre d'avion utilisé et le service à bord des avions. Pour notre part nous caractériserons les itinéraires à l'aide du prix (P^c_{ijt}), et du temps (H^c_{ijt}), des fréquences (F^c_{ijt}) des vols constituant un itinéraire de la classe tari faire c. Nous retenons donc les caractéristiques habituellemnet jugées les plus influentes sur la demande agrégée. Toutefois Ericksen et al. (1976), en vue d'expliquer une demande aérienne agrégée, ont développé une variable explicative "Level Of Service" avec l'ensemble des éléments établis par Long.

3.3.1.1 PRIX

Notons qu'aucune moyenne mais l'ensemble des tarifs observés est inclus dans la formulation[6]. Le coût d'accès à l'aéroport, dont l'importance fut démontré par Bower (1976), est ajouté au prix aérien[7]. Des auteurs qui ont spécifié le prix aérien comme variable explicative l'ont mesuré à partir des publications de l'O.A.G. de différentes façons: par exemple, le tarif de la classe affaire sans restrictions (Abrahams, 1980; Andrikopoulos, 1981; De Vany, 1974; Sobienak, 1972), une moyenne pondérée par le nombre de déplacements pour quatre classes tarifaires (Brown et Watkins, 1968), la moyenne pondérée par la fréquence des transporteurs (Kanafani, 1975), la moyenne pondérée par un modèle de choix des classes tarifaires (Oum, 1984).

Nous supposons le prix aérien exogène à la demande. Cette hypothèse repose en partie sur le fait que le prix en 1983 était réglementé, et il est reconnu qu'à cette période les transporteurs aériens étaient réticents à faire des "guerres de prix"[8]: ils préfé-

---

6 A remarquer que le prix est défini sur une base d'un voyage aller-simple, puisqu'il s'agit d'étudier la répartition des itinéraires pour les allers d'un marché. Ainsi, comme nous l'expliquerons un peu plus loin, nous ne faisons pas de différence entre la répartition des itinéraires pour les allers-retours et les allers-simples. Ceci nous conduit à dériver le prix de chacun des allers en divisant par deux le prix de l'aller-retour.

7 Le coût d'accès aurait pu être inclus dans les équations (3.1) et (3.2) comme une variable explicative distincte. Des mesures uniques et représentatives du coût et du temps d'accès pour des villes desservies par plusieurs aéroports devraient être alors déduites. Nous avons préféré contraindre le coefficient du coût d'accès à être égal à celui du prix d'un déplacement dans le modèle de répartition de l'équation (3.3).

8 Air Canada est considéré depuis longtemps comme le transporteur qui établit les prix aériens au Cananda (voir à ce sujet Kliman, 1976; Haanappel, 1981; Transport Canada, 1985).

raient compétitionner avec les heures de départ, la fréquence et le service à bord des avions.

Plusieurs études ont substitué la distance au prix aérien. La validité de cette substitution repose partiellement sur la relation entre les prix établis par le Civil Aviation Board en fonction de la distance à l'époque où le transport aérien des passagers était règlementé[9]. La distance peut aussi être considérée comme une mesure de compétition au transport aérien par les modes auto, autobus et train. A ce sujet Lansig et al. (1961) signalent une ambiguïté concernant le signe anticipé de l'effet de la distance en raison de différentes interprétations possibles. Notons toutefois que, même si durant 1983 la règlementation était en vigueur au Canada, il n'existait pas alors, comme à tout autre moment d'ailleurs, une relation exacte entre le prix réglementé et la distance ou toute autre variable. Les auteurs qui ont fait cette substitution sont: Howrey (1969), Lansig et al. (1961), Long (1970).

---

9 Cette relation de 1974 à 1982 était de la forme:
$p_{ij} = a_0 + a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3$,
où $a_0 > 0$, $a_1 > a_2 > a_3 > 0$,
p_{ij} = prix d'un aller entre i et j
d_1 = 1 si $d_{ij} < 500$
0 sinon
d_2 = 1 si $500 \leq d_{ij} \leq 1500$
= 0 sinon
d_3 = 1 si $d_{ij} > 1500$
= 0
d_{ij} = distance à vol d'oiseau entre la ville i et la ville j.
Les valeurs pour 1978 de la classe tarifaire affaire étaient
a_0=17.93, a_1=.098, a_2=.0748,a_3=.0719.

3.3.1.2 TEMPS

Elle est mesurée par le temps de déplacement effectif des voyages, c'est-à-dire la différence entre l'heure d'envolée et l'heure d'arrivée ajustée pour les changements de fuseaux horaires, à laquelle on ajoute les temps d'accès à l'aéroport et au centre-ville[10]. Il nous semble raisonnable (et même presqu'évident) de supposer l'indépendance de la variable temps de trajet par rapport au nombre de déplacements à l'intérieur d'une année. Il se peut toutefois qu'à long terme une hausse considérable du nombre d'allers puisse engendrer des vols directs et/ou des appareils plus rapides. Dans le but de dériver la valeur du temps à partir de la demande de transport aérien, De Vany (1974) et Gronau (1970) ont spécifié d'une manière particulière le temps de transport. Ce qui revient à l'ajout des produits de la distance avec le prix et le temps pour De Vany et à une régression non linéaire dans le cas de Gronau. Dans son développement actuel, le modèle ANITA n'incorpore pas ces considérations. Parmi les différentes mesures de la variable temps rencontrées, notons: le temps moyen des quatre vols les plus rapides (Brown-Watkins, 1968), le meilleur temps (De Vany, 1974; Howrey, 1969).

3.3.1.3 FREQUENCE

La fréquence des itinéraires remplace le temps d'attente, c'est-à-dire le délai entre le temps de départ désiré par un individu et celui établi par les transporteurs aériens. Parmi les variables du réseau aérien, celle qui a suscité le plus d'attention est certainement la fréquence. En effet, plusieurs auteurs ont soutenu et

---

10L'information sur les temps et les coûts d'accès proviennent de

soutiennent toujours que la fréquence des segments des vols pour un marché représente une dimension importante de l'offre des transporteurs aériens, et par conséquent le niveau de la fréquence d'un marché serait influencé par la demande de ce marché. L'équilibre d'un marché, dans le contexte d'un prix réglementé, s'effectuerait par le biais de la fréquence. On peut trouver des exemples de cette approche dans Abrahams (1980), Ippolito (1981), Olson et Trapani (1981a, 1981b), De Vany (1975). Contrairement à ce que soutient cette approche, plusieurs raisons nous portent à croire à l'indépendance de la fréquence par rapport à la demande:

i) tous ces modèles d'équilibre supposent une complète indépendance des fréquences entre les différents marchés. Les décisions d'un transporteur reliées aux fréquences seraient établies séparément pour chacun des marchés. Nous croyons qu'au contraire l'offre des transporteurs aériens repose sur un ensemble de segments de vols pour satisfaire les demandes relatives à l'ensemble des marchés (Pollack, 1977).

ii) les réseaux annuels de la plupart des tranporteurs aériens comprennent trois horaires distincts de quatre mois chacun. Pour une année donnée, le premier horaire ne peut être influencé par la demande de l'année considérée, car il doit être connu de la Commission Canadienne et des agences de voyage à peu près trois mois d'avance. Suite à des conversations avec les transporteurs, il semble que les deux autres horaires sont en très grande partie déterminés par le niveau de la demande des trimestres correspondant de l'année précédente et non par les trimestres passés de l'année en cours. Il existe cependant des ajustements ponctuels durant l'année aux horaires déjà établis (ajout d'un vol si la demande dépasse largement les anticipations), mais puisque la fréquence est mesurée à partir des planifications des transporteurs telles que publiées par l'O.A.G. et non de celle

réalisée qui peut être dérivée avec notre échantillon, cette considération n'a pas beaucoup d'importance. De même, Abrahams (1980, p.17) mentionne qu'une des caractéristiques de l'industrie aérienne est le fait que l'offre, qu'il associe à la fréquence, est fixée avant de connaître une demande aléatoire.

iii) notre mesure de la fréquence correspond au nombre de départs planifiés pour les chemins utilisés. On peut penser que le nombre de sièges disponibles sur un marché qui dépendrait du nombre de départs et du type d'avion serait davantage une mesure de la fréquence qui serait influencée par un ensemble de demandes de marchés. D'autres auteurs ont retenu les mesures suivantes: nombre de départs quotidiens sans arrêt (Howrey, 1969), nombre de sièges totaux (Ippolito, 1981; Olson et Trapani, 1981a; 1981b), nombre départs avec 0 et 1 arrêt (Kanafani, 1975).

iv) la fréquence d'un marché est un concept très flou. En effet, du nombre presqu'infini de chemins possibles pour effectuer un voyage entre deux villes, selon quels critères circonscrire ceux qui doivent être inclus pour définir la fréquence? Doit-on inclure ceux nécessitant un transfert? ou deux? ou trois? Sont-ce les chemins avec un temps de 15% excédant le plus rapide, ou de 30%, ou de 70%? Cette imprécision provient du fait que l'offre des transporteurs doit être vue comme un ensemble de segments de vols déterminés non indépendamment les uns des autres qui servent un ensemble de marchés.

Dans le modèle ANITA la fréquence approxime le temps d'attente moyen pour un chemin et est mesurée avec les chemins utilisés[11].

---

11 Cela correspond à notre interprétation de Pollack (1977,p.305,sous-section 7) qui suggère d'énumérer tout les chemins acceptables entre les paires de villes, même ceux avec plusieurs escales ou transferts.

3.3.2 LES VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES

Puisqu'un de nos objectifs concerne le discernement des variables socio-économiques associées aux origines de celles reliées aux destinations, il est donc impératif de posséder une description adéquate des villes. Une telle information existe et est fournie par le recensement de Statistique Canada effectué au début et au milieu (depuis 1986) de chaque décennie.

Lors de notre revue de la littérature on a pu constater une pénurie d'articles consacrés à l'examen des variables socio-économiques susceptibles d'influencer la demande de transport interurbain. La plupart des études de transport pour un mode avec une coupe transversale se servent des variables suivantes sans les justifier vraiment: population, emploi dans le secteur manufacturier, le nombre de cols-blancs, revenu per capita.

Le seul auteur qui présente une analyse intéressante à ce sujet est Pinton (1967)[12]. Sa principale contribution a été de démontrer empiriquement que les fonctions de demande des passagers pour le transport ferroviaire doivent être spécifiées avec différentes variables socio-économiques selon le motif des déplacements. Par exemple, pour les déplacements avec motif personnel, il constate que le revenu des voyageurs de son échantillon excède de beaucoup le revenu moyen des villes, et que la probabilité de faire une visite à un ami ou à un membre de la parenté doit être correlée positivement

---

12D'autres articles portant sur le sujet, mais avec une discussion beaucoup moins pénétrante sont: Vogt, Ivers et associés (1969), Meyburg (1972), Keesler (1965).

avec la population de la ville. Il inclut donc comme variable explicative le revenu moyen des voyageurs, le nombre de diplômés universitaires et la population des villes. Pour les déplacements avec motif affaire, Pinton émet l'opinion que cette demande devrait être complémentaire à celle des services consommés à la destination. Il spécifie alors cette demande avec l'emploi dans le secteur des services, le nombre de cols-blancs et l'emploi total.

D'autres auteurs ont fourni certains éléments intéressants. Wills (1978) formule un indice de similarité linguistique (L_{ij}) entre les villes d'origine et de destinations,

$L_{ij} = 100 - | L_i - L_j |$, où L_i (L_j) est la part de la population de la ville i (j) de langue maternelle anglaise.

Long (1968) définit l'attrait d'une ville selon la théorie des opportunités (Intervening Opportunities Model) développée par Stouffer (1940). Long mesure l'attrait (A_{ji}) de la ville j à la ville i par A_{ji} = population j / (Σ_k population k), où l'indice k désigne les villes autour de la ville i ayant une distance inférieure à la distance entre la ville i et la ville j.

3.3.3 LES ATTRIBUTS DES AUTRES MODES

Plusieurs auteurs reconnaissent l'influence des modes terrestres pour les déplacements de moins de 500 miles. Conséquemment ils n'incluent dans leurs échantillons que les marchés avec des distances supérieures à 500 milles évitant ainsi la spécification des caractéristiques des modes terrestres. Parmi ces auteurs se trouvent: Gronau (1970), Sobienak (1972), Straszheim (1978). En ce qui nous concerne, nous préférons tester empiriquement ces affirmations et, dans ce but, nous décrivons le plus justement possible les caractéristiques des autres modes. Les variables explicatives des modes compétitifs à l'avion contenues dans le modèle ANITA sont les temps, les prix des modes autobus et automobiles, et la fréquence du mode autobus. Présentons brièvement la contruction de chacune de ces variables.

Débutons par le mode automobile. Les chemins représentatifs qui caractériseront les déplacements en auto correspondent aux plus rapides. Les temps des chemins sont dérivés à partir des vitesses moyennes des routes qui les composent et de leurs longueurs. Ces informations proviennent du Canadian Automobile Association (C.A.A.). On suppose les périodes de conduite suivantes: 7:00-12:00, 13:00-18:00, 19:00-00:00. Si la destination est à moins de 90 minutes de conduite il n'y a pas d'arrêts. Il n'y a pas de nuitées si la destination est à moins de quatre heures de conduite. Le coût d'utilisation des chemins provient des prix moyens de l'essence sans plomb par province durant 1983, fournis par C.A.A., de la consommation moyenne d'essence du parc automobile par province (réf: Statistique Canada 8-5400-501). Les prix par personne d'un dîner, d'un souper et d'une nuitée retenus sont 7$, 12$ et 45$, respectivement. Les tarifs des traversiers, lorsque nécessaire, sont aussi ajoutés.

L'information de base pour constituer les caractéristiques du mode autobus provient de l'Official Canadian Bus Guide publié par Russell's Guides Inc.. On y retrouve les heures de départs et d'arrivées, ainsi que les jours d'opération de la semaine et quelques tarifs en vigueur. Cependant la majorité des tarifs nous ont été communiqués par les compagnies d'autobus. Tout comme pour l'auto, les chemins retenus correspondent uniquement aux plus rapides. Les prix des repas sont les mêmes que pour l'auto. Il arrive parfois que certains chemins exigent des nuitées lorsque le temps de transfert excède quatre heures et survient après minuit.

3.4 MODELES ORIGINE-DESTINATION

Cette section présente une procédure empirique pour démontrer l'avantage de stipuler le lieu de résidence des individus. Plus précisément, nous présenterons les restrictions à imposer pour des paramètres du modèle ANITA si l'information disponible ne concerne que les allers. Cette démonstration s'effectue par ailleurs dans le cadre de l'exclusion des voyages complets ayant plusieurs destinations. Ils représentent un peu moins de 10% des voyages de notre échantillon.

Le fondement de cette procédure réside dans l'identité (3.6). Cette relation provient de la définition des allers, c'est-à-dire tous les individus qui se dirigent de i vers j (O^c_{ij}) sont, soit:

i) des individus qui vont à j pour revenir à i par la suite (T^c_{iji});
ii) des individus qui reviennent à j après un voyage à i (T^c_{jij});
iii) des allers-simples entre i et j (T^c_{ij}).

Dans les cas i) et ii) on interprète les origines des allers-retours, i et j respectivement, comme des lieux de résidence. Cette hypothèse est généralement vérifiée, sauf pour quelques voyageurs partant de Montréal ou de Toronto, où paraît-il des allers-retours de ces villes sont effectués par des résidents de villes éloignées pour bénéficier des meilleurs horaires.[13]. Récrivons les équations (3.1), (3.2) et (3.6):

13On nous a reporté l'exemple de personnes résidentes à Ottawa, qui pour se rendre plus vite à Vancouver, voyagent en auto jusqu'à Montréal. Des exemples similaires se produiraient à Toronto.

$$T^c_{iji} = \beta^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji}) \beta^c_1 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji}) \beta^c_2 + X_i \beta^c_3 + X_j \beta^c_4 + (M_{ij} + M_{ji}) \beta^c_5 + X_{ij} \beta^c_6 + \epsilon^c_{iji} \quad (3.1)$$

$$T^c_{ij} = \gamma^c_0 + S^c_{ij}\gamma^c_1 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_2 + X_i\gamma^c_3 + X_j\gamma^c_4 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}\gamma^c_6 + \epsilon^c_{ij} \quad (3.2)$$

$$O^c_{ij} \equiv T^c_{iji} + T^c_{jij} + T^c_{ij}. \quad (3.6)$$

Substituons dans (3.6) les équations (3.1) et (3.2)

$$O^c_{ij} = 2\beta^c_0 + \gamma^c_0 + 2(S^c_{ij} + S^c_{ji})\beta^c_1 + S^c_{ij}\gamma^c_1 + 2(S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji})\beta^c_2 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_2 + (X_i + X_j)\beta^c_3 + X_i\gamma^c_3 + (X_i + X_j)\beta^c_4 + X_j\gamma^c_4 + 2(M_{ij} + M_{ji})\beta^c_5 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}(2\beta^c_6 + \gamma^c_6) + \epsilon^c_{iji} + \epsilon^c_{jij} + \epsilon^c_{ij}. \quad (3.7)$$

On peut récrire (3.7) de la façon suivante:

$$O^c_{ij} = \gamma^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji})\gamma^c_1 + S^c_{ij}\gamma^c_2 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji})\gamma^c_3 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_4 + (X_i + X_j)\gamma^c_5 + X_i\gamma^c_6 + X_j\gamma^c_7 + (M_{ij} + M_{ji})\gamma^c_8 + M_{ij}\gamma^c_9 + X_{ij}\gamma^c_{10} + \varsigma^c_{ij} \quad (3.8)$$

où $\gamma^c_0 = 2\beta^c_0 + \gamma^c_0$, $\gamma^c_1 = 2\beta^c_1$, $\gamma^c_2 = \gamma^c_1$, $\gamma^c_3 = 2\beta^c_2$,
$\gamma^c_4 = \gamma^c_2$, $\gamma^c_5 = \beta^c_3 + \beta^c_4$, $\gamma^c_6 = \gamma^c_3$, $\gamma^c_7 = \gamma^c_4$,
$\gamma^c_8 = 2\beta^c_5$, $\gamma^c_9 = \gamma^c_5$, $\gamma^c_{10} = (2\beta^c_6 + \gamma^c_6)$,

$$\varsigma^c_{ij} = \epsilon^c_{iji} + \epsilon^c_{jij} + \epsilon^c_{ij}. \quad (3.9)$$

L'explication des allers par le modèle ANITA s'exprime par l'équation (3.8). Contrairement aux modèles usuels des allers, on y retrouve le niveau du service aérien et les attributs des autres modes associés au déplacement de j vers i (S^c_{ji}, M^c_{ji}). Ces deux dernières variables proviennent de (3.1) où il est supposé que le niveau de service dans chaque direction détermine la demande de déplacements dans une direction. Nous prétendons que l'explication des allers ij nécessitent la présence des variables des réseaux du marché ji indépendamment de la formulation retenue. Pour soutenir cette proposition nous reformulons l'explication des allers-retours et des allers-simples.

$$Y^1_{ij} = \beta_0 + X_i\,\beta_1 + X_j\,\beta_2 + S_{ij}\beta_3 + e^1_{ij} \qquad (3.10)$$

$$Y^2_{ij} = \beta_0 + X_j\,\beta_1 + X_i\,\beta_2 + S_{ij}\beta_3 + e^2_{ij} \qquad (3.11)$$

$$Y^3_{ij} = \gamma_0 + X_i\,\gamma_1 + X_j\,\gamma_2 + S_{ij}\gamma_3 + e^3_{ij} \qquad (3.12)$$

$$O_{ij} \equiv Y^1_{ij} + Y^2_{ij} + Y^3_{ij}$$

$$= 2\beta_0+\gamma_0 + (X_i+X_j)(\beta_1+\beta_2) + X_i\gamma_1 + X_j\gamma_2 + S_{ij}(2\beta_3+\gamma_3) + e^*_{ij}, \qquad (3.13)$$

où Y^1_{ij} = les allers-retours qui originent en i;

Y^2_{ij} = les allers-retours qui originent en j;

Y^3_{ij} = les allers-simples de i vers j.

Les variables socio-economiques associées au vecteur de paramètres β_1 représentent les descriptions de la ville d'où origine l'aller-retour, tandis que celles reliées au vecteur β_2 expriment une description de la ville où se dirige le déplacement.

Cette reformulation n'affecte pas, comparativement à (3.8), la forme que prennent les variables socio-économiques dans le modèle des allers, mais plutôt celle des variables du réseau. A première vue il apparaît que la présence de S_{ji} pour l'explication de O_{ij} dans (3.8) provient uniquement de la formulation des allers-retours telle qu'exprimée par l'équation (3.1). Cependant, l'absence de S_{ji} dans (3.13) n'est qu'illusoire, car les containtes $Y^1_{ij} = Y^2_{ji}$ doivent être imposées pour que le système d'équations (3.10) à (3.13) ait un sens. Si on substitue dans (3.13) Y^1_{ij} par Y^2_{ji} on obtient la présence de S_{ji} pour l'explication de O_{ij}. Il nous apparaît donc justifié d'incorporer les caractéristiques des variables des réseaux pour la direction opposée. De plus il semble préférable de distinguer les catégories de voyages et de leur affecter les caractéristiques adéquates, évitant ainsi de considérer la corrélation non-triviale des erreurs suite à l'imposition des contraintes $Y^1_{ij} = Y^2_{ji}$.

Considérons maintenant l'explication des allers par le modèle ANITA telle qu'exprimée par les équations (3.8) et (3.9). L'utilisation des allers-retours et des allers-simples permet l'identification de l'ensemble des paramètres de l'équation (3.7). Deux particularités émergent de cette identification:

- effets directionnels généralisés des variables réseaux (DGR);
- effets directionnels généralisés des variables socio-économiques (DGS).

3.4.1 Effets directionnels généralisés des variables des réseaux (DGR)

Les effets des variables sont directionnels puisque les valeurs des variables des réseaux dépendent généralement de l'ordre des indices des villes, i.e. $S^c_{ij} \neq S^c_{ji}$, $S^{c'}_{ij} \neq S^{c'}_{ji}$, $M^c_{ij} \neq M^c_{ji}$, c'est-à-dire[14]:

$$\left[\frac{\partial O^c_{ij}}{\partial S^c_{ij}} S^c_{ij} = (\gamma^f_1+\gamma^f_2) S^c_{ij}\right] \neq \left[\frac{\partial O^c_{ji}}{\partial S^c_{ji}} S^c_{ji} = (\gamma^f_1+\gamma^f_2) S^c_{ji}\right] \text{ si } S^c_{ij} \neq S^c_{ji}. \quad (3.14)$$

Le caractère directionnel des effets des variables des réseaux provient essentiellement des valeurs numériques des variables. Seules les variables asymétriques (valeur de la variable pour l'observation ij différente de l'observation ji) causent un effet directionnel.

14Nous avons retenu cette mesure puisque dans le cas linéaire la dérivée partielle par rapport à une variable est égale à son coefficient. En général la dérivée partielle dépend de la variable.

De plus les effets des variables des réseaux sont généralisés puisque l'aller ij de l'équation (3.8) est influencé par son propre niveau de service mais aussi, et cela distinctement, par le niveau de service ji ($\gamma_1^c \neq 0$). On peut donc écrire:

$$\left[\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial S_{ji}^c} \cdot S_{ji}^c = \gamma_1^c \cdot S_{ji}^c\right] \neq \left[\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial S_{ij}^c} \cdot S_{ij}^c = (\gamma_1^c + \gamma_2^c) \cdot S_{ij}^c\right]. \qquad (3.15)$$

Contrairement au caractère directionnel, les paramètres γ procurent le caractère généralisé des effets des variables des réseaux. Une spécification plus "générale" des équations (3.1) et (3.2) avec des paramètres différents associées aux variables S_{ij}^c et S_{ji}^c conduit à la même propriété. Les effets définis en (3.14) et (3.15) ne résultent pas du fait que S_{ij}^c et S_{ji}^c sont présents dans (3.1) mais pas dans (3.2).

3.4.2 Effets directionnels généralisés des variables socio-économiques (DGS)

Le terme directionnel pour une variable socio-économique ($x_{i\,k}$) signifie qu'elle influence différemment les allers de directions opposées, c'est-à-dire:

$$\left[\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial x_{i\,k}} x_{i\,k} = (\gamma_{5\,k}^c + \gamma_{6\,k}^c)\, x_{i\,k}\right] \neq \left[\frac{\partial O_{ji}^c}{\partial x_{i\,k}} x_{i\,k} = (\gamma_{5\,k}^c + \gamma_{7\,k}^c)\, x_{i\,k}\right]. \qquad (3.16)$$

La condition pour un effet directionnel des variables socio-économiques s'exprime donc par $\gamma_5^c \neq \gamma_6^c$. Elle ne dépend pas du fait que $\beta_5^c \neq \beta_6^c$.

Le terme généralisé signifie qu'une variable socio-économique des villes d'origine ou des villes de destination a un effet sur les allers qui peut être décomposé en deux: une influence associée aux résidents de i ($\gamma_{5\,k}^c$) et une autre provenant de voyageurs qui originent en i ($\gamma_{6\,k}^c$):

$$\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial x_{i\,k}} \cdot x_{i\,k} = (\gamma_{5\,k}^c + \gamma_{6\,k}^c)\, x_{i\,k}\ . \qquad (3.17)$$

Dans le problème présenté, on connaît vraisemblablement les vraies origines pour les allers-retours mais pas pour les allers-simples. Dans ce cas, il n'y a pas de gain à formuler (3.1) et (3.2) plutôt que seulement (3.8) autre que celui qui vient du fait que les allers-simples sont des biens différents des allers-retours.

Si par contre on connaissait les vraies origines des allers-simples, dans ce cas il pourrait y avoir un gain supplémentaire si les origines "véritables" étaient différentes des orgines supposées (données par l'indice).

Certaines contraintes doivent être imposées à l'équation (3.8) si l'information disponible concerne uniquement les allers des marchés, et non les allers-retours et les allers-simples, et si nous voulons retrouver des formes proposées de modèles pour les allers par d'autres auteurs. Quatre catégories de contraintes sont alors employées pour retrouver des formes connues de modèles pour les allers. Ces catégories sont:

- effets non directionnels des variables réseaux (NR);
- effets directionnels particuliers des variables réseaux (DPR);
- effets non directionnels des variables s.-é. (NS);
- effets directionnels particuliers des variables s.-é. (DPS).

3.4.3 Effets non directionnels des variables réseaux (NR)

Si $\gamma_2^c = \gamma_4^c = \gamma_6^c = 0$ ($\tau_1^c = \tau_2^c = \tau_3^c = 0$), les variables associées aux coefficients γ_1^c et γ_3^c de l'équation (3.8) apparaissent alors sous une forme non directionnelle,puisque leurs valeurs de i à j sont les mêmes que de j à i, c'est-à-dire[15]

$$\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial (S_{ij}^c + S_{ji}^c)} (S_{ij}^c + S_{ji}^c) = \frac{\partial O_{ji}^c}{\partial (S_{ij}^c + S_{ji}^c)} (S_{ij}^c + S_{ji}^c) = \gamma_1^c \ (S_{ij}^c + S_{ji}^c).$$

Dans plusieurs études on retrouve des variables réseaux que l'on sait symétriques, par exemple, la distance ou le prix (CTC, 1976; Lansig, 1961; Brown et Watkins, 1968), ou d'autres que l'on croit l'être, par exemple, la fréquence ou le temps des vols directs (Brown et Watkins, 1968; De Vany, 1974; Howrey, 1969).

On peut aussi interpréter ces restrictions comme une reconnaissance implicite des caractéristiques de l'aller de la direction opposée avec la contrainte suivante:

$$\frac{\partial O_{ij}^c}{\partial S_{ij}^c} = \frac{\partial O_{ij}^c}{\partial S_{ji}^c} .$$

---

15 Le lecteur peut se demander pourquoi la variable de la dérivation dans l'équation (3.14) diffère de celle ci-dessus. Plutôt que d'exprimer cette condition avec $S_{ij}^c + S_{ji}^c$ on aurait pu utiliser $S_{ij}^{c*} = (S_{ij}^c + S_{ji}^c)/2$.

3.4.4 Effets directionnels particuliers des variables réseaux (DPR)

Dans la plupart des modèles pour les allers, les variables des réseaux sont asymétriques, c.à d. $S^c_{ij} \neq S^c_{ji}$, ce qui signifie qu'elles ont un effet directionnel. Toutefois, il n'est jamais tenu compte des valeurs des mêmes variables pour la direction opposée.

Les contraintes $\gamma^c_1 = \gamma^c_3 = \gamma^c_6 = 0$ ($\beta^c_1 = \beta^c_2 = \beta^c_3 = 0$) rendent les effets des niveaux de service directionnels et annulent la présence du niveau de service de la direction opposée.

3.4.5 Effets non directionnels des variables socio-économiques (NS)

La majorité des modèles pour les allers sont formulés de telle sorte que les effets d'une variable socio-économique ($x_{i\,k}$) associée aux origines et aux destinations sont les mêmes. Cela est le cas dans l'équation (3.8) si $\gamma^c_6 = \gamma^c_7$ ($\gamma^c_3 = \gamma^c_4$). Nous avons alors

$$\frac{\partial O^c_{ij}}{\partial x_{i\,k}} x_{i\,k} = \frac{\partial O^c_{ji}}{\partial x_{i\,k}} x_{i\,k} = \gamma^c_{5\,k}\ x_{i\,k}.$$

Cette formulation se retrouve dans : Abrahams (1980), Andrikopoulos(1980), Brown et Watkins (1968), De Vany (1974), Howrey (1969), Ippolito (1981), Olson et Trapani (1981), Oum (1984), CTC (1976), Sobienak (1972).

3.4.6 Effets directionnels particuliers des variables socio-économiques (DPS)

Pour les cas autres que $\gamma_3^c = \gamma_4^c$, les effets associés aux paramètres de (3.8) sont nécessairement directionnels. Il n'est possible d'identifier autre donc que que les vecteurs de paramètres $(\gamma_5^c+\gamma_6^c)$ (ou $\beta_3^c+\beta_4^c+\gamma_3^c$) associés à X_i et $(\gamma_5^c+\gamma_7^c)$ (ou $\beta_3^c+\beta_4^c+\gamma_4^c$) associés à X_j. Il est donc impossible de définir des sous-cas différents de $\gamma_3^c = \gamma_4^c$.

En conclusion, on remarque que le caractère directionnel des effets des variables provient de l'équation des allers-simples en ce sens que, si les γ sont nuls (variables de réseaux) ou égaux entre eux (variables socio-économiques) le modèle des allers ne peut permettre d'identifier des effets directionnels (associés au sens du déplacement ou à son origine véritable): la présence des β de l'équation des allers-retours implique une absence de directionnalité des effets. Il est intéressant de remarquer que la forme la plus souvent rencontrée dans la littérature, correspond à l'omission des variables des réseaux dans l'équation des allers-retours et à l'absence des variables socio-économiques dans l'équation des allers-simples; nous la désignons par DPR-NS (directionnel particulier réseaux-non directionnel socio-économique).

La schéma ci-dessous illustre les différents cas que nous allons considérer ici. Le sigle retenu est composé de deux parties: la première décrit la formulation des variables des réseaux et la seconde celle des variables socio-économiques.

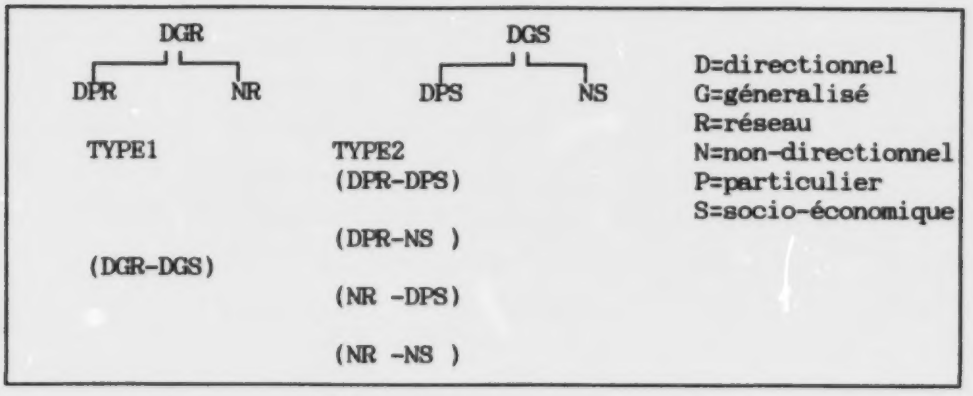


Figure 1
Classification des modèles pour les allers

3.4.7. tests statistiques de la désagrégation des allers

Notre but est de pouvoir comparer empiriquement les formulations du type 2 à celle du type 1. Pour ce faire, il nous faut rendre "comparable" l'échantillon des allers qui sert à calculer les paramètres des modèles du type 2 à celui des allers-retours et des allers-simples qui sert à estimer les paramètres du modèle de type 1. Deux ensembles de contraintes au modèle de type 1 sont nécessaires pour rendre possible cette comparaison: 1)le premier ensemble correspond à la combinaison adéquate des contraintes présentées dans NR, DPR, NS, DPS afin d'obtenir une formulation du type 2 (la formulation visée); 2)le second ensemble comprend tous les paramètres supputés de la formulation visée. En vue de mesurer le gain de la formulation de type 1 par rapport à une formulation particulière du type 2, on compare les maximums, avec et sans les deux ensembles de contraintes de la fonction de vraisemblance pour les allers-simples et les allers-retours. L'exemple ci-dessous illustre notre procédure de démonstration.

Supposons que l'on veuille démontrer que le modèle ANITA (DGR-DGS) est préférable à un modèle DPR-NS. Les contraintes à imposer au modèle ANITA seraient:

$$
\begin{aligned}
2\,\beta_0^c + \gamma_0^c &= \hat{\gamma}_0^c,\\
\beta_1^c &= 0,\\
\gamma_1^c &= \hat{\gamma}_2^c,\\
\beta_2^c &= 0,\\
\gamma_2^c &= \hat{\gamma}_4^c,\\
\gamma_3^c &= \gamma_4^c,\\
\hat{\gamma}_5^c + \hat{\gamma}_7^c &= \beta_3^c + \beta_4^c + \gamma_3^c,\\
\beta_5^c &= 0,\\
\gamma_5^c &= \hat{\gamma}_9^c,\\
2\sigma^2_{\epsilon_{i\,j\,1}} + \sigma^2_{\epsilon_{i\,j}} &= \hat{\sigma}^2_{\zeta_{i\,j}},
\end{aligned}
\qquad (3.18)
$$

où les paramètres avec des chapeaux proviennent de l'estimation du modèle DPR-NS.

Soient $\mathcal{L}_{DGR-DGS}$ = le logarithme du maximum de la fonction de vraisemblance du modèle (3.1) et (3.2), et

$\mathcal{L}_{DPR-NS}$ = le logarithme du maximum de la fonction de vraisemblance du modèle (3.1) et (3.2) sujet aux contraintes (3.18),

alors si H_0, représenté par (3.18), est vraie

$2\,(\mathcal{L}_{(DGR-DGS)} - \mathcal{L}_{(DPR-NS)})$ suit une loi χ^2_{10}. [16]

Cette démontration supposait la linéarité des fonctions de demande. Cependant la plupart des modèles pour les allers aériens ont été formulés avec une forme fontionnelle similaire à (3.19):

$$O_{ij} = \beta_0\, S_{ij}^{\beta_1}\, (X_i \cdot X_j)^{\beta_2}\, M_{ij}^{\beta_3}\, \exp(\epsilon_{ij}) \qquad (3.19)$$

qui est estimée avec (3.20):

$$O^*_{ij} = \log(\beta_0) + \beta_1\, S^*_{ji} + \beta_2\, (X^*_i + X^*_j) + \beta_3\, M^*_{ij} + \epsilon^*_{ij} \qquad (3.20)$$

Nous proposons de substituer à la variable dépendante de (3.20) l'expression $T^*_{iji} + T^*_{jij} + T^*_{ij}$. [17] Une corrélation élevée (ρ = .91) entre ces deux variables a guidé notre choix.

En plus des contraintes exposées en 3.4.3, 3.4.4 et 3.4.5 un deuxième ensemble de contraintes est requis et provient des paramètres calculés avec les allers. Pour chacun des cas, nous les présentons:

16Le nombre de degrés de liberté (10) correspond au cas où il y a un paramètre par vecteur.

17 L'étoile au-dessus d'une variable signifie qu'une transformation logarithmique est appliquée à cette variable.

$$\text{NR} : \beta_1^c = \hat{\gamma}_1^c/2,\ \beta_3^c = \hat{\gamma}_2^c/2,\ \beta_5^c = \hat{\gamma}_6^c/2 \tag{3.21}$$

$$\text{DPR}: \gamma_1^c = \hat{\gamma}_2^c,\ \gamma_2^c = \hat{\gamma}_4^c,\ \gamma_5^c = \hat{\gamma}_9^c \tag{3.22}$$

$$\text{NS} : \beta_3^c + \beta_4^c + \gamma_3^c = \hat{\gamma}_8^c \tag{3.23}$$

$$\text{DPS}: \beta_3^c + \beta_4^c + \gamma_3^c = \hat{\gamma}_5^c + \hat{\gamma}_6^c,\ \beta_3^c + \beta_4^c + \gamma_4^c = \hat{\gamma}_8^c + \hat{\gamma}_7^c \ ^{18} \tag{3.24}$$

plus les contraintes générales suivantes :

$$2\beta_0^c + \gamma_0^c = 2\hat{\beta}_0^c + \hat{\gamma}_0^c + \hat{\alpha}_0^c,\quad 2\sigma^2_{\epsilon_{i\,j1}} + \sigma^2_{\epsilon_{i\,j}} = \hat{\sigma}^2_{\xi}. \tag{3.25}$$

La procédure générale suivie pour les tests consistera donc:

i) à estimer le modèle DGR-DGS, c.à.d. (3.1) et (3.2) sans contraintes;

ii) à imposer un ensemble de contraintes particulières sur les γ de (3.8) et à estimer avec l'échantillon des allers les paramètres γ non-contraints;

iii)à réestimer (3.1) et (3.2) sous les valeurs obtenues en ii);

iv) à calculer la perte comme la différence entre i) et iii).

18Il serait plus précis de mettre le chapeau non pas sur chacun des paramètres mais sur leurs sommes. Ce problème d'édition exige du lecteur un effort d'imagination.

3.5 ITINERAIRE ET AGREGATION DE L'INFORMATION DU RESEAU

Un des problèmes que l'on rencontre particulièrement en transport porte sur l'agrégation des caractéristiques des chemins utilisés. Par exemple, il existe plusieurs façons de "consommer" le bien "voyage à Vancouver" selon les classes tarifaires, les heures de départ, le temps requis, le transporteur choisi. Habituellement pour les modèles de la demande agrégée d'un marché, une valeur unique pour chacune des caractéristiques est associée aux voyages selon des critères non uniformes d'un auteur à l'autre (voir la section 3.A). Crow (1971, p.27) mentionne que l'agrégation peut comporter de grandes erreurs puisqu'elle est effectuée à partir des individus à l'intérieur d'une ville et qu'il est alors nécessaire d'agréger les coûts et les temps pour chaque mode au niveau urbain. Nous utiliserons la description complète des déplacements de notre échantillon plutôt que de décrire un itinéraire "représentatif" d'un marché. Cette section porte sur le traitement que le modèle ANITA accorde aux caractéristiques observées des déplacements en avion.

A priori deux formulations différentes peuvent être envisagées: un traitement, soit du niveau des itinéraires, soit de celui de leurs répartitions. Kanafani et al. (1975) ont tenté d'expliquer le nombre de déplacements aériens par route entre différentes villes de la Californie. Il en est résulté des élasticités inattendues[19]. Nous ne retiendrons pas cette option, principalement à cause d'un problème inhérent de spécification des variables socio-économiques. Il nous semble que le choix des chemins repose en très grande partie sur leurs caractéristiques tandis que la décision d'entreprendre un déplacement

---

19Elasticités du prix -8.,du temps -4.,de la population 2. et du revenu 2.

provient, en plus des caractéristiques des chemins, de celles des individus et des motifs du déplacement. Un traitement distinct des décisions nous apparaît souhaitable. Dans des contextes différents, quelques auteurs ont usé une telle formulation: McLynn et Woronka (1969), Monsod (1966) , Gaudry et Wills (1978) expliquent à la fois, *mais non simultanément*, les déplacements de tous les modes et de la répartition entre les modes. Oum et al.(1984) utilisent cette méthodologie pour les déplacements aériens par classe tarifaire. Dans ces études on estime d'abord un modèle de répartition de la demande appropriée aux sous-marchés considérés, puis on utilise les résultats de cette estimation pour définir un niveau de service pour les catégories sur lesquelles le modèle de répartition est posé. Ce niveau de service sert alors de régresseur à un modèle du niveau de la demande de toutes les catégories. Le modèle ANITA retient cette approche pour l'agrégation des itinéraires mais estime *simultanément* l'équation de répartition et les équations de demande des allers-retours et des allers-simples.

Le modèle ANITA procède à deux niveaux d'agrégation. Une première agrégation des chemins, que nous nommons *conceptuelle*, porte sur les caractéristiques jugées moins pertinentes en vue de l'explication de la demande agrégée. Ce qui nous amène au concept d'itinéraire défini par l'ensemble des chemins ayant le même temps de transport, la même fréquence, le même prix et la même classe tarifaire. Nous avons donc omis les caractéristiques suivantes des chemins: les transporteurs aériens, les types d'appareils, les heures de départs et d'arrivées, les journées de la semaine et les périodes de l'année.

La deuxième agrégation, dite *mesurée*, provient d'un modèle de choix des itinéraires, tel que présenté par les équations (3.3), (3.4) et (3.5) du modèle ANITA que nous reproduisons ci-dessous.

$$\frac{O^c_{ijt}}{O^c_{ij}} = \frac{[\,(\lambda^c_{I\,PT}\exp(Z^c_{ijt}\,\theta)+1)^{1/\lambda^c_{I\,PT}} + \mu^c_{I\,PT}]\;\exp(u^c_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n^c_{ij}}[\,(\lambda^c_{I\,PT}\exp(Z^c_{ijv}\,\theta)+1)^{1/\lambda^c_{I\,PT}} + \mu^c_{I\,PT}]\;\exp(u^c_{ijv})}, \qquad (3.3)$$

$$Z^c_{ijt} = (\,F^c_{ijt},\, P^c_{ijt},\, H^c_{ijt},\, D^c_{ijt},\, 1.\,)$$

$$\theta' = (\,\theta_1\,,\,\theta_2\,,\,\theta_3\,,\,\theta_4\,,\,\theta_5\,)$$

$$S^c_{ij} \equiv \log\{\sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(\,\theta_1 F^c_{ijv} + \theta_2\, P^c_{ijv} + \theta_3\, H^c_{ijv} + \theta_4\, D^c_{ijv} + \theta_5\,)\} \qquad (3.4)$$

$$S^{c'}_{ij} \equiv \log\{\sum_{v=1}^{n^{c'}_{ij}} \exp(\,\theta_1 F^c_{ijv} + \theta_2\, P^c_{ijv} + \theta_3\, H^c_{ijv} + \theta_4\, D^c_{ijv} + \theta_5\,)\}\,. \qquad (3.5)$$

Le modèle de choix (3.3) retenu correspond au modèle I.P.T. (Inverse Power Transformation) appliqué à des données agrégées en l'absence de répétition. On obtient le modèle logit comme cas particulier si l'on fixe $\lambda_{I\,PT}=1$ et $\mu_{I\,PT}=-1$. Gaudry (1981) proposa ce modèle et Gaudry et Laferrière (1988) l'ont testé empiriquement avec des données agrégées de Winnipeg. Nous retenons ce modèle de choix non seulement à cause de notre "familiarité" avec ce modèle mais surtout parce qu'il offre la possibilité d'identifier l'effet d'une variable qui possède la même valeur pour toutes les alternatives. On peut vérifier facilement que si $\lambda_{I\,PT} = -\mu_{I\,PT} = 1$, alors si un élément du vecteur Z, la constante dans notre cas, prend la même valeur pour l'ensemble des itinéraires d'un marché ij, alors cet élément n'affecte aucunement les parts de ce marché. Habituellement on solutionne ce problème en incluant cet élément dans toutes les alternatives sauf une. Nous sommes alors confrontés à choisir un itinéraire pour lequel nous associerons une valeur nulle à la variable "constante". Contrairement à la pratique usuelle le choix d'un itinéraire, dans notre cas, aura un effet sur les résultats car nous ne pouvons reconnaître

l'itinéraire qui doit prendre la valeur nulle pour la constante *dans un marché donné*. En effet si l'on étudie la répartition modale pour différents marchés on peut repérer l'alternative auto dans chacun d'eux. Ceci n'est pas notre cas. A moins de faire appel à une nomenclature particulière comme l'itinéraire le plus court ou le moins dispendieux. Pour pallier à ces difficultés nous retenons la spécification IPT comme forme de l'équation de répartition.

Une deuxième singularité porte sur l'unicité des coefficients par rapport aux classes tarifaires. L'économie du nombre de coefficients dicte ce choix. Mais cela permet aussi de tenir compte, via l'utilisation de variables auxiliaires, absentes pour le moment, de mesurer l'importance de quelques particularités des classes tarifaires comme les restrictions sur l'âge, la période minimale d'un séjour, les périodes de réservation, etc.

Les mesures d'agrégation des itinéraires (S^{c}_{ij}, $S^{c'}_{ij}$) d'un marché sont interprétées comme des niveaux de service du transport aérien. Si les variables aléatoires u^{c}_{ijt} suivent une loi de Weibull, $\lambda^{c}_{IPT}=1$ et $\mu^{c}_{IPT}=-1$, alors

$$S^{c}_{ij}+S^{c'}_{ij}=E\{\max_{i}(\theta_1 F^{c}_{ijt}+\theta_2 P^{c}_{ijt}+\theta_3 H^{c}_{ijt}+\theta_4 D^{c}_{ijt}+\theta_5+u^{c}_{ijt})\}.$$

Le modèle ANITA comporte donc toutes les <u>valeurs</u> des caractéristiques des itinéraires utilisées comme source d'explication des allers, et les poids servant au regroupement de ces valeurs (θ_1, $\theta_2,\ldots,\theta_5$) possèdent une double signification. La première consiste à mesurer l'influence d'une caractéristique d'un itinéraire particulier sur le niveau des allers-retours ou des allers-simples. La seconde étant l'influence, pour un itinéraire particulier, d'une caractéristique sur la proportion du marché de l'itinéraire. Cette double signification provient de l'estimation simultanée des équations (3.1), (3.2) et (3.3).

CHAPITRE IV

FONCTIONS DE VRAISEMBLANCE

Dans ce chapitre nous présentons la fonction de vraisemblance du modèle ANITA ainsi que les dérivées de cette fonction par rapport aux paramètres du modèle. La connaissance analytique des dérivées trouve son importance dans la procédure de maximisation de la fonction de vraisemblance ainsi que dans le calcul de la matrice de variances-covariances asymptotique des paramètres. La méthode utilisée pour la maximisation de la fonction de vraisemblance sous contraintes est exposée à la section 4.2.

4.1 FONCTION DE VRAISEMBLANCE DU MODELE ANITA

La formulation du modèle ANITA s'exprime par les équations (3.1) à (3.8) que nous récrivons ci-dessous:

$$T^c_{iji} = \beta^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji})\,\beta^c_1 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji})\,\beta^c_2 + X_i\,\beta^c_3 + X_j\,\beta^c_4 + (M_{ij} + M_{ji})\,\beta^c_5 + X_{ij}\,\beta^c_6 + \epsilon^c_{iji} \qquad (3.1)$$

$$T^c_{ij} = \gamma^c_0 + S^c_{ij}\gamma^c_1 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_2 + X_i\gamma^c_3 + X_j\gamma^c_4 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}\gamma^c_6 + \epsilon^c_{ij} \qquad (3.2)$$

$$\frac{O^c_{ijt}}{O^c_{ij}} = \frac{[\,(\lambda^c_{IPT}\exp(Z^c_{ijt}\,\theta)+1)^{1/\lambda^c_{IPT}} + \mu^c_{IPT}]\;\exp(u^c_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n^c_{ij}} [\,(\lambda^c_{IPT}\exp(Z^c_{ijv}\,\theta)+1)^{1/\lambda^c_{IPT}} + \mu^c_{IPT}]\;\exp(u^c_{ijv})}, \qquad (3.3)$$

$$S^c_{ij} \equiv \log\Big(\sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(Z^c_{ijv}\,\theta)\Big), \qquad (3.4)$$

$$S^{c'}_{ij} \equiv \log\Big(\sum_{v=1}^{n^{c'}_{ij}} \exp(Z^c_{ijv}\,\theta)\Big), \qquad (3.5)$$

$$O^c_{ij} = T^c_{iji} + T^c_{jij} + T^c_{ij}. \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned} O^c_{ij} = {} & \gamma^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji}) \gamma^c_1 + S^c_{ij} \gamma^c_2 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji}) \gamma^c_3 + S^{c'}_{ij} \gamma^c_4 \\ & + (X_i + X_j) \gamma^c_5 + X_i \gamma^c_6 + X_j \gamma^c_7 + (M_{ij} + M_{ji}) \gamma^c_8 + M_{ij} \gamma^c_9 \\ & + X_{ij} \gamma^c_{10} + \epsilon^c_{ij} \end{aligned} \tag{3.8}$$

En vue de faciliter l'écriture de la fonction de vraisemblance et de ses dérivées nous utiliserons une écriture vectorielle et matricielle. Soient les définitions suivantes:[20]

$$Y^c_1 \equiv \begin{bmatrix} T^c_{121} \\ \vdots \\ T^c_{1n1} \\ \vdots \\ T^c_{n1n} \end{bmatrix} \quad Y^c_2 \equiv \begin{bmatrix} T^c_{12} \\ \vdots \\ T^c_{1n} \\ \vdots \\ T^c_{n1} \end{bmatrix} \quad Y^c_3 \equiv \begin{bmatrix} \ln(O^c_{122}/O^c_{121}) \\ \vdots \\ \ln(O^c_{12t}/O^c_{121}) \\ \vdots \\ \ln(O^c_{n1t}/O^c_{n11}) \end{bmatrix}$$

$$X^c_1 \equiv \begin{bmatrix} & \overbrace{\quad}^{O} & & \overbrace{\quad}^{D} & \\ 1, S^c_{12}+S^c_{21}, S^{c'}_{12}+S^{c'}_{21}, X_{11},..,X_{1k}, X_{21},..,X_{2k}, M_{121}+M_{211},.., M_{12k}+M_{21k}, X_{121},..,X_{12k} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ 1, S^c_{n1}+S^c_{1n}, S^{c'}_{n1}+S^{c'}_{1n}, X_{n1},..,X_{nk}, X_{11},..,X_{1k}, M_{121}+M_{211},.., M_{12k}+M_{21k}, X_{121},..,X_{12k} \end{bmatrix}$$

$$\underline{X}^c_2 \equiv \begin{bmatrix} & \overbrace{\quad}^{O} & & \overbrace{\quad}^{D} & \\ 1, S^c_{12}, S^{c'}_{12}, X_{11}, X_{12},.., X_{1k}, X_{21}, X_{22},.., X_{2k}, M_{121},.., M_{12k}, X_{121},.., X_{12k} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ 1, S^c_{n1}, S^{c'}_{n1}, X_{n1}, X_{n2},.., X_{nk}, X_{11}, X_{12},.., X_{1k}, M_{121},.., M_{12k}, X_{121},.., X_{12k} \end{bmatrix}$$

20 La dernière ligne des matrices correspond à la ville d'origine n et à la ville des destination 1 et non au chiffre 1.

$$\underline{\Gamma}^c \equiv \begin{bmatrix} \ln(\Gamma^c_{122}) - \ln(\Gamma^c_{121}) \\ \vdots \\ \ln(\Gamma^c_{12t}) - \ln(\Gamma^c_{121}) \\ \vdots \\ \ln(\Gamma^c_{n1t}) - \ln(\Gamma^c_{n11}) \end{bmatrix} \qquad b^c_1 \equiv \begin{bmatrix} \beta^c_0 \\ \beta^c_1 \\ \beta^c_2 \\ \beta^c_3 \\ \beta^c_4 \\ \beta^c_5 \end{bmatrix} \qquad b^c_2 \equiv \begin{bmatrix} \gamma^c_0 \\ \gamma^c_1 \\ \gamma^c_2 \\ \gamma^c_3 \\ \gamma^c_4 \\ \gamma^c_5 \end{bmatrix}$$

$$\ln(\Gamma^c_{ijt}) \equiv \ln\left[(\lambda^c_{iPT} \exp(Z^c_{ijt}\theta) + 1)^{1/\lambda^c_{iPT}} + \mu^c_{iPT} \right]$$

Avec les définitions précédentes le modèle ANITA se récrit de la façon suivante:

$$\underline{Y}^c_1 = \underline{X}^c_1 b^c_1 + e^c_1 \qquad (4.1)$$

$$\underline{Y}^c_2 = \underline{X}^c_2 b^c_2 + e^c_2 \qquad (4.2)$$

$$\underline{Y}^c_3 = \underline{\Gamma}^c + e^c_3 . \qquad (4.3)$$

Les équations (4.1), (4.2) et (4.3) représentent une formulation matricielle des équations (3.1), (3.2) et (3.3). La forme linéaire de l'équation (4.3) provient de l'application logarithmique à une transformation évidente de l'équation (3.3). Le choix du premier itinéraire d'un marché dans les définitions de $\underline{\Gamma}^c$ et $\underline{Y}_3{}^c$ est parfaitement arbitraire, dès lors l'invariance des résultats par rapport à ce choix. Le choix de l'alternative de référence n'affecte pas les résultats puisque les observations d'un marché de l'équation (4.3) peuvent être transformées de façon telle qu'elles auraient pu être générées avec un autre itinéraire de référence. Les équations pour les observations du marché 1 2 de l'équation de répartition s'écrivent de la façon suivante:

$$\ln(O^c_{122}/O^c_{121}) = \ln(\Gamma^c_{122}) - \ln(\Gamma^c_{121}) + u^c_{122} - u^c_{121}$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$\ln(O^c_{12t}/O^c_{121}) = \ln(\Gamma^c_{12t}) - \ln(\Gamma^c_{121}) + u^c_{12t} - u^c_{121}.$$

Mais puisque

$$\ln(O^c_{121} / O^c_{12t}) = \ln(\Gamma^c_{121}) - \ln(\Gamma^c_{12t}) + u^c_{121} - u^c_{12t}$$

on peut donc récrire les équations pour les observations du premier marché (1 2) après avoir ajouté à chacune d'elles l'équation précédente, pour obtenir:

$$\ln(O^c_{121} / O^c_{12t}) = \ln(\Gamma^c_{121}) - \ln(\Gamma^c_{12t}) + u^c_{121} - u^c_{12t}$$

$$\vdots$$

$$\ln(O^c_{12t-1} / O^c_{12t}) = \ln(\Gamma^c_{12t-1}) - \ln(\Gamma^c_{12t}) + u^c_{12t-1} - u^c_{12t}.$$

Le choix du premier itinéraire n'est donc pas pertinent car après une simple tranformation on peut générer un système d'équations correspondant au choix de n'importe quel itinéraire de référence.

Comme on l'a déjà mentionné l'écriture du modèle n'implique nullement le même nombre de variables ni les mêmes variables présentes en origine et en destination. En effet certains paramètres dans les vecteurs β^c_3 et β^c_4 peuvent être fixés à des valeurs nulles.

Nous supposons la normalité et l'indépendance des erreurs résiduelles des équations (4.1)-(4.3). Dès lors la fonction de vraisemblance des équations (4.1)-(4.3) s'exprime comme suit:

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = \sum_c \{ & -N_{1c} \cdot .5 \ln(\sigma^2_{1c}) - .5\, \sigma^{-2}_{1c} \cdot [\underline{Y}^c_1 - \underline{X}^c_1 b^c_1]' [\underline{Y}^c_1 - \underline{X}^c_1 b^c_1] \\ & -N_{2c} \cdot .5 \ln(\sigma^2_{2c}) - .5\, \sigma^{-2}_{2c} \cdot [\underline{Y}^c_2 - \underline{X}^c_2 b^c_2]' [\underline{Y}^c_2 - \underline{X}^c_2 b^c_2] \\ & -N_{3c} \cdot .5 \ln(\sigma^2_{3c}) - .5\, \sigma^{-2}_{3c} [\underline{Y}^c_3 - \underline{\Gamma}^c]' [\underline{Y}^c_3 - \underline{\Gamma}^c] \}. \end{aligned} \qquad (4.4)$$

N_{ic} dénote le nombre d'observations pour la classe tarifaire c de l'équation i. La dérivée de $\mathcal{L}$ par rapport aux paramètres, θ's du modèle sont:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta^c_w} = \sum_{d=1}^{c} & \{ \sigma^{-2}_{1d} \beta^d_a [\underline{s}^d_{1w} + \underline{s}^d_{2w}]' [(\underline{Y}^d_1 - \underline{X}^d_1 b^d_1] \\ & + \sigma^{-2}_{2d} \gamma^d_a [\underline{s}^d_{1w}]' [(\underline{Y}^d_2 - \underline{X}^d_2 b^d_2])\} + \sigma^{-2}_{3c} (\underline{Y}^c_3 - \underline{\Gamma}^c)' \underline{W}^c, \end{aligned} \qquad (4.5)$$

où l'indice a égale 1 si d = c ou 2 autrement. Les vecteurs $\underline{s}^c_{iw}$ et $\underline{s}^c_{2w}$ correspondent à la dérivée de S^c_{ij} et S^c_{ji} par rapport à un des quatre paramètres θ. La variable W^c_{ijt} désigne une des variables (F^c_{ijt}, P^c_{ijt}, H^c_{ijt}, 1) associées au paramètre de la dérivation. Plus spécifiquement,

$$\underline{W}^c \equiv \begin{bmatrix} (\Gamma^c_{121} - \mu^c_{i\,pt})^{(1-\lambda^c_{I\,PT})} & \exp(Z^c_{121}\theta)\, W^c_{121} \\ \vdots & \vdots \\ (\Gamma^c_{12t} - \mu^c_{i\,pt})^{(1-\lambda^c_{I\,PT})} & \exp(Z^c_{12t}\theta)\, W^c_{12t} \\ \vdots & \vdots \\ (\Gamma^c_{nlt} - \mu^c_{i\,pt})^{(1-\lambda^c_{I\,PT})} & \exp(Z^c_{nlt}\theta)\, W^c_{nlt} \end{bmatrix}$$

$$\underline{s}^c_{i\,w} \equiv \begin{bmatrix} \sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{12v} + \theta_2 P^c_{12v} + \theta_3 H^c_{12v} + \theta_4 D^c_{12v} + \theta_5)\, W^c_{12v}/\exp(S^c_{12}) \\ \vdots \\ \sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{1nv} + \theta_2 P^c_{1nv} + \theta_3 H^c_{1nv} + \theta_4 D^c_{1nv} + \theta_5)\, W^c_{1nv}/\exp(S^c_{1n}) \\ \vdots \\ \sum_{v=1}^{n^c_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{nlv} + \theta_2 P^c_{nlv} + \theta_3 H^c_{nlv} + \theta_4 D^c_{nlv} + \theta_5)\, W^c_{nlv}/\exp(S^c_{nl}) \end{bmatrix}$$

$$\underline{s}^c_{i\,w} \equiv \begin{bmatrix} \sum_{v=1}^{n^{c\,\prime}_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{21v} + \theta_2 P^c_{21v} + \theta_3 H^c_{21v} + \theta_4 D^c_{21v} + \theta_5)\, W^c_{21v}/\exp(S^c_{12}) \\ \vdots \\ \sum_{v=1}^{n^{c\,\prime}_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{n1v} + \theta_2 P^c_{n1v} + \theta_3 H^c_{n1v} + \theta_4 D^c_{n1v} + \theta_5)\, W^c_{n1v}/\exp(S^c_{1n}) \\ \vdots \\ \sum_{v=1}^{n^{c\,\prime}_{ij}} \exp(\theta_1 F^c_{1nv} + \theta_2 P^c_{1nv} + \theta_3 H^c_{1nv} + \theta_4 D^c_{1nv} + \theta_5)\, W^c_{1nv}/\exp(S^c_{1n}) \end{bmatrix} .$$

Les dérivées de $\mathcal{L}$ par rapport aux paramètres β et σ du modèle sont:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \beta_{ik}^{c}} = -\sigma_{ic}^{-2} \left(\underline{Y}_i^c - \underline{X}_i^c b_i^c \right)' \underline{X}_{ik}^c, \tag{4.6}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \sigma_{ic}^2} = \frac{-.5N_{ic}}{\sigma_{ic}^2} + \frac{.5}{\sigma_{ic}^2} \left[\underline{Y}_i^c - \underline{X}_i^c b_i^c \right]' \left[\underline{Y}_i^c - \underline{X}_i^c b_i^c \right], \tag{4.7}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \sigma_{3c}^2} = \frac{-.5N_{3c}}{\sigma_{3c}^2} + \frac{.5}{\sigma_{3c}^2} \left[\underline{Y}_3^c - \underline{r}^c \right]' \left[\underline{Y}_3^c - \underline{r}^c \right], \tag{4.8}$$

où i=1,2; et X_{ik} est un vecteur représentant la $k^{ième}$ colonne de la matrice $\underline{X}_i$.

Les dérivées formulées en (4.5),(4.6), (4.7) et (4.8) servent d'une part à l'algorithme d'optimisation de Fletcher et Powell (1963) pour la maximisation de la fonction (4.4) et, d'autre part, pour calculer la matrice de variances-covariances Ω des paramètres avec la formule de Berndt et al. (1974) donnée ci-dessous:

$$\Omega = \left(\Omega^* \right)^{-1}$$

$$\Omega^* = \sum_t \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \theta_k^d} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \beta_{ik}^c} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{1c}^2} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{2c}^2} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{3c}^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \theta_k^d} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \beta_{ik}^c} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{1c}^2} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{2c}^2} \\ \frac{\partial \mathcal{L}_t}{\partial \sigma_{3c}^2} \end{bmatrix}' .$$

4.2 FONCTION DE VRAISEMBLANCE SOUS CONTRAINTES

Cette section contient la méthode utilisée pour calculer les valeurs de la fonction de vraisemblance (4.4) dans les cas où on impose différentes contraintes aux paramètres β et γ des équations (3.1) et (3.2). Rappelons la procédure de la section 3.4.7:

i) estimer le modèle DGR-DGS, c.à.d. (3.1) et (3.2) sans contraintes;

ii) imposer un ensemble de contraintes particulières sur les Ψ de (3.8) et estimer avec l'échantillon des allers les paramètres Ψ non-contraints;

iii) réestimer (3.1) et (3.2) sous les valeurs obtenues en ii);

iv) à calculer la perte comme la différence entre i) et iii).

Rappelons le modèle ANITA:

$$T^c_{iji} = \beta^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji})\,\beta^c_1 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji})\,\beta^c_2 + X_i\,\beta^c_3 + X_j\,\beta^c_4 + (M_{ij} + M_{ji})\,\beta^c_5 + X_{ij}\,\beta^c_6 + \epsilon^c_{iji} \qquad (3.1)$$

$$T^c_{ij} = \gamma^c_0 + S^c_{ij}\gamma^c_1 + S^{c'}_{ij}\gamma^c_2 + X_i\gamma^c_3 + X_j\gamma^c_4 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}\gamma^c_6 + \epsilon^c_{ij} \qquad (3.2)$$

$$O^c_{ij} \equiv T^c_{iji} + T^c_{jij} + T^c_{ij}. \qquad (3.6)$$

Substituons dans (1.6) les équations (1.1) et (1.2).[21]

$$O^c_{ij} = 2\,\beta^c_0 + \gamma^c_0 + 2\,(S^c_{ij} + S^c_{ji})\,\beta^c_1 + S^c_{ij}\,\gamma^c_1 + 2\,(S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji})\,\beta^c_2 + S^{c'}_{ij}\,\gamma^c_2 + (X_i + X_j)\,\beta^c_3 + X_i\gamma^c_3 + (X_i + X_j)\,\beta^c_4 + X_j\gamma^c_4 + 2\,(M_{ij} + M_{ji})\,\beta^c_5 + M_{ij}\gamma^c_5 + X_{ij}(2\beta^c_6 + \gamma^c_6) + \epsilon^c_{iji} + \epsilon^c_{jij} + \epsilon^c_{ij}. \qquad (4.8)$$

---

21 Nous substituons dans l'identité (1.6) les équations représentant les termes du côté droit même si les variables dépendantes qu'ils représentent prennent des valeurs nulles. Puisque notre but est de comparer la solution du modèle ANITA à celle d'un modèle origine-destination usuel, nous n'emploierons pas pour dériver le modèle origine-destination la connaissance de la présence ou non des éléments T^c_{ij}, T^c_{iji} et T^c_{jij}.

On récrit (4.8) de la façon suivante:

$$O^c_{ij} = \gamma^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji}) \gamma^c_1 + S^c_{ij} \gamma^c_2 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji}) \gamma^c_3 + S^{c'}_{ij} \gamma^c_4 + X_{ij}\gamma^c_5 + X_i \gamma^c_6 + X_j \gamma^c_7 + (M_{ij} + M_{ji}) \gamma^c_8 + M_{ij} \gamma^c_9 + \varsigma^c_{ij}, \quad (4.9)$$

où $\gamma^c_0 = 2\beta^c_0 + \tau^c_0$, $\gamma^c_1 = 2\beta^c_1$, $\gamma^c_2 = \tau^c_1$, $\gamma^c_3 = 2\beta^c_2$

$\gamma^c_4 = \tau^c_2$, $\gamma^c_5 = 2\beta^c_6 + \tau^c_6$, $\gamma^c_6 = \beta^c_3 + \beta^c_4 + \tau^c_3$, $\gamma^c_7 = \beta^c_3 + \beta^c_4 + \tau^c_4$

$\gamma^c_8 = 2\beta^c_5$, $\gamma^c_9 = \tau^c_5$, $\varsigma^c_{ij} = \epsilon^c_{iji} + \epsilon^c_{jij} + \epsilon^c_{ij}$.

L'étape ii) établit que certaines contraintes sont nécessaires pour retrouver différentes formes connues de modèles origine-destination (NR-NS, NR-DPS, DPR-NS, DPR-DPS). L'identification d'une forme connue pour un modèle origine-destination requiert des valeurs nulles pour certains paramètres de l'équation (4.9). Les autres paramètres de l'équation (4.9) sont alors estimés avec l'équation des allers.

L'étape iii) concerne le calcul de la fonction de vraisemblance avec les observations des allers-retours et des allers-simples en substituant les paramètres γ provenant de (4.9) dans les équations (3.1) et (3.2). On identifie les paramètres γ estimés et fixés par des chapeaux.

$$T^c_{iji} = \beta^c_0 + (S^c_{ij} + S^c_{ji}) \hat{\gamma}^c_1/2 + (S^{c'}_{ij} + S^{c'}_{ji}) \hat{\gamma}^c_3/2 + X_i \beta^c_3 + X_j \beta^c_4 + (M_{ij} + M_{ji}) \hat{\gamma}^c_8/2 + X_{ij} \beta^c_6 + \epsilon^c_{iji} \quad (4.10)$$

$$T^c_{ij} = \hat{\gamma}^c_0 - 2\beta^c_0 + S^c_{ij} \hat{\gamma}^c_2 + S^{c'}_{ij} \hat{\gamma}^c_4 + X_i (\hat{\gamma}^c_6 - \beta^c_3 - \beta^c_4) + X_j (\hat{\gamma}^c_7 - \beta^c_3 - \beta^c_4) + M_{ij}\hat{\gamma}^c_9 + X_{ij} (\hat{\gamma}^c_5 - 2\beta_6) + \epsilon^c_{ij}. \quad (4.11)$$

En vue d'estimer les paramètres β des équations (4.10) et (4.11) nous devons redéfinir les variables dépendantes pour isoler du côté droit des équations les paramètres β.

Définissons les variables dépendantes suivantes:

$$T^{C*}_{iji} \equiv T^{C}_{iji} - (\hat{S}^{C}_{ij} + \hat{S}^{C}_{ji})\hat{\gamma}^{c}_{1}/2 - (\hat{S}^{C'}_{ij} + \hat{S}^{C'}_{ji})\hat{\gamma}^{c}_{3}/2 - (M_{ij} + M_{ji})\hat{\gamma}^{c}_{8}/2, \quad (4.12)$$

$$T^{C*}_{ij} \equiv T^{C}_{ij} - \hat{\gamma}^{c}_{0} - \hat{S}^{C}_{ij}\hat{\gamma}^{c}_{2} - \hat{S}^{C'}_{ij}\hat{\gamma}^{c}_{4} - X_i\hat{\gamma}^{c}_{6} - X_j\hat{\gamma}^{c}_{7} - M_{ij}\hat{\gamma}^{c}_{9} - X_{ij}\hat{\gamma}^{c}_{5}. \quad (4.13)$$

Etant donné ces nouvelles définitions des variables dépendantes, les variables explicatives associées aux paramètres β deviennent:

$$T^{C*}_{iji} = \beta^{c}_{0} + X_i\,\beta^{c}_{5} + X_j\,\beta^{c}_{4} + X_{ij}\,\beta^{c}_{6} + \epsilon^{C}_{iji}, \quad (4.14)$$

$$T^{C*}_{ij} = -2\beta^{c}_{0} + (-X_i - X_j)\,\beta^{c}_{5} + (-X_i - X_j)\,\beta^{c}_{4} + (-2X_{ij})\,\beta^{c}_{6} + \epsilon^{C}_{ij}. \quad (4.15)$$

Les équations (4.14) et (4.15) contiennent les contraintes données par les γ. Pour poser la fonction de vraisemblance deux autres types de contraintes dérivées de l'estimation de (4.9) sont nécessaires. Les équations (4.16) et (4.17) les expriment:

$$\sigma^{2}_{\epsilon_{ij}} = \hat{\sigma}^{2}_{\epsilon_{ij}} - 2\sigma^{2}_{\epsilon_{iji}}. \quad (4.16)$$

$$\theta = \hat{\theta}_{od}. \quad (4.17)$$

L'inclusion des contraintes (4.16) et (4.17) provient du fait que l'on utilise tous les paramètres de l'estimation d'un modèle avec les observations allers comme contraintes. L'équation (4.16) signifie que la variance totale des erreurs résiduelles pour les équations des allers-retours et des allers-simples, (4.15) et (4.16) doit être égale à la variance de l'erreur résiduelle de l'équation des allers. Les paramètres θ sont tenus fixes aux valeurs (θ_{od}) calculés avec les allers (équation 4.17).

Soient: $\underline{Y}^{C*}_{1}$, $\underline{Y}^{C*}_{2}$ les vecteurs des variables dépendantes de (4.12), (4.13);

$\underline{X}^{C*}_{1}$ et $\underline{X}^{C*}_{2}$ des variables explicatives pour les équations (4.14) et (4.15);

b^{c}_{i} un vecteur comprenant les paramètres β^{c}_{0}, β^{c}_{5}, β^{c}_{4} et β^{c}_{6}.

La fonction de vraisemblance s'écrit alors:

$$\mathcal{L}^* = \sum_c \{ -N_{1c} .5 \ln(\sigma^2_{ic}) - .5 [\underline{Y}_1^{c*} - \underline{X}_1^{c*} b_i^c]' [\underline{Y}_1^{c*} - \underline{X}_1^{c*} b_i^c] / \sigma^2_{ic}$$
$$- N_{2c} .5 \ln(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})$$
$$- .5 [(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})]^{-1} [\underline{Y}_2^{c*} - \underline{X}_2^{c*} b_i^c]' [\underline{Y}_2^{c*} - \underline{X}_2^{c*} b_i^c])$$
$$-N_{3c} .5 \ln(\hat{\sigma}^2_{3c}) - .5 [\underline{Y}_3^c - \underline{\Gamma}^c \hat{\theta}^c]' [\underline{Y}_3^c - \underline{\Gamma}^c \hat{\theta}^c] / \hat{\sigma}^2_{3c} \}. \quad (4.18)$$

Les dérivées de la fonction de vraisemblance par rapport aux coefficients b_i^c et σ^2_{ic} apparaissent dans les équations (4.19) et (4.20).

$$\frac{\partial \mathcal{L}^*}{\partial \sigma^2_{ic}} = - N_{1c} .5/\sigma^2_{ic} - .5 (\sigma^2_{ic})^{-2} [\underline{Y}_1^{c*} - \underline{X}_1^{c*} b_i^c]' [\underline{Y}_1^{c*} - \underline{X}_1^{c*} b_i^c]$$
$$+ N_{2c} [(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})]^{-1} + [(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})]^{-2} [\underline{Y}_2^{c*} - \underline{X}_2^{c*} b_i^c]' [\underline{Y}_2^{c*} - \underline{X}_2^{c*} b_i^c], \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}^*}{\partial b_i^c} = .5(\sigma^2_{ic})^{-2} [\underline{Y}_1^{c*} - \underline{X}_1^{c*} b_i^c]' \underline{X}_1^{c*} + [(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})]^{-2} [\underline{Y}_2^{c*} - \underline{X}_2^{c*} b_i^c]' \underline{X}_2^{c*}. \quad (4.20)$$

De (4.20) on déduit que le calcul du vecteur b_i^c nécessite la méthode des moindres carrés généralisés, c'est-à-dire:

$$b_i^c = \left[\frac{\underline{X}_1^{c*\prime} \underline{X}_1^{c*}}{\sigma^2_{ic}} + \frac{\underline{X}_2^{c*\prime} \underline{X}_2^{c*}}{(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})} \right]^{-1} \left[\frac{\underline{X}_1^{c*\prime} \underline{Y}_1^{c*}}{\sigma^2_{ic}} + \frac{\underline{X}_2^{c*\prime} \underline{Y}_2^{c*}}{(\hat{\sigma}^2_c - 2\sigma^2_{ic})} \right]. \quad (4.21)$$

CHAPITRE V
DESCRIPTION DES DONNEES

A l'intérieur de ce chapitre nous décrivons les données qui servent à l'estimation du modèle ANITA. Nous débutons dans la première section avec l'exposition de la construction de la variable dépendante et des variables propres au mode aérien, c'est-à-dire prix, temps et fréquence. Dans la section 5.2 nous présentons la construction des variables explicatives du mode autobus; la section 5.3 contient une discussion des variables du mode automobile.

5.1 VARIABLES EXPLICATIVES ET DEPENDANTES DU MODE AERIEN

En principe l'estimation de la demande aérienne canadienne devrait comporter l'ensemble des passagers avec les transporteurs canadiens. Toutefois nos efforts jusqu'à ce jour nous ont permis d'obtenir seulement la collaboration d'Air Canada et de CP Air et ce pour diverses raisons, dont celle de confidentialité. Une description du contenu de l'information mise à notre disposition permettra de comprendre le caractère hautement confidentiel des données. Les deux transporteurs nationaux ont mis à notre disposition l'ensemble des coupons (environ 12,000,000) utilisés par leurs clients durant l'année 1983.

On retrouve sur un coupon:

i) le numéro du billet;
ii) le numéro du coupon;
iii) la date d'utilisation du coupon;
iv) le code du transporteur et le numéro du vol;
v) le prix du voyage;
vi) la classe tarifaire du coupon;
vii) la ville du départ et celle d'arrivée associées au coupon.

Puisque nous voulons expliquer les allers-retours, les allers-simples et éventuellemnet les allers, nous devons retracer tous les coupons qui appartiennent à un même voyage. C'est une tâche qui s'est avérée beaucoup plus ardue qu'anticipée. Le regroupement des coupons appartenant aux voyages individuels requiert cinq étapes. Présentons-les.

5.1.1 Correction des données

Différentes erreurs d'édition apparaissent sur les coupons que nous avons reçus. Le numéro d'un billet se définit à l'aide de 10 chiffres. Cependant il arrivait parfois que des lettres s'y retrouvaient. Après discussion avec les transporteurs nous avons substitué à ces lettres des zéros. Le numéro du coupon doit être un chiffre entre 1 et 4 inclusivement. Quelques coupons qui ne satisfaisaient pas cette condition n'ont pas été considérés.

Il arrive que des voyages de groupe soient effectués avec des coupons identiques. On a donc procédé au regroupement de ces coupons qui avaient les mêmes: code du transporteur, numéro de vol, jour, mois, numéro du coupon, ville d'origine et ville de destination. Nous avons substitué à tous ces coupons identiques un coupon-type mais en prenant soin de conserver le nombre de coupons identiques du départ.

5.1.2 Jumelage de l'information de l'Official Airline Guide (O.A.G.)

Nous avons acquis de IPSharp la banque de données de l'O.A.G.. L'information contenue dans celle-ci se présente comme suit:

- code du transporteur;
- numéro du vol;
- ville de départ et ville d'arrivée;
- heures de départ et d'arrivée (heure locale);
- nombre de minutes de l'envolée;
- période d'application (date d'entrée en vigueur et celle d'expiration);
- journées de la semaine avec un départ;
- nombre de sièges offerts pendant la période d'application;
- nombre de départs pendant la période d'application;
- distance à vol d'oiseau entre les villes;
- type d'appareil.

Nous possédons l'information pour l'année 1983 pour les transporteurs suivants: Air Canada, CP Air, Air Ontario, First Air, Bearskin Lake Air Service, Time Air, Nordair, Norcanair, Norontair, Air Atonabee, Eastern Provincial Airways, Pacific Western Airlines, Quebecair, Voyageur Airways.

Selon le code du transporteur, le numéro du vol, la date d'utilisation et les villes de départ et d'arrivée qui apparaissent sur un coupon nous avons associé, pour chaque coupon, l'information de l'O.A.G..

5.1.3 Regroupement des coupons appartenant au même voyage

On regroupe l'ensemble des coupons en trois catégories: les voyages complétés, les voyages incomplets et les flux. Nous rappelons qu'un voyage est complété si la ville d'arrivée du dernier coupon est la même que la ville de départ du premier coupon. De plus le coupon avec le numéro un doit être présent dans tous les billets qui constituent le voyage[22]. Trois principes guident le regroupement des coupons: tous les coupons d'un billet possèdent le même numéro de billet; un billet contient un maximum de quatre coupons; si un voyage nécessite plusieurs billets, alors les numéros des billets supplémentaires seront consécutifs.

Pour réunir les coupons d'un billet il a fallu trier les coupons par ordre des numéros du billet. De plus pour déterminer la séquence d'utilisation des coupons d'un billet on a trié les coupons d'un même billet selon la date et l'heure d'utilisation.

Les billets inclus dans les voyages complétés et incomplets doivent satisfaire les critères suivants:

1) la ville d'arrivée d'un coupon doit être la même que celle de départ sur le prochain coupon;
2) le coupon numéro un doit être présent;
3) la différence en valeur absolue des numéros de deux coupons consécutifs doit être inférieure à deux.

---

22 Puisque les coupons ont été triés selon la date, le premier coupon d'un billet ne possède pas nécessairement le numéro un.

On admet un maximum de trois billets pour effectuer un voyage. On a dit que les billets d'un voyage devaient avoir des numéros consécutifs, mais il y a aussi une autre condition: les coupons des billets consécutifs, une fois triés avec la date et l'heure de départ, doivent satisfaire la première condition du paragraphe précédent.

Tous les coupons qui ne constituent pas des voyages complétés ou incomplets représentent ce que nous appelons des flux. Les flux sont constitués de billets dont on n'a qu'une information partielle. Par exemple, si l'on retrouve les coupons avec les numéros 1 et 4 ou ceux avec les numéros 2 et 3 nous ne pouvons affirmer s'il s'agit de villes de transit ou si elles représentent des lieux où il y eût un arrêt prolongé.

5.1.4 Détermination des destinations à l'intérieur des voyages

Parmi les voyages déterminés à l'étape précédente, on est intéressé ici à reconnaître les villes où il y eut un arrêt prolongé. Ces villes seront indentifiées comme des destinations. Un arrêt prolongé survient si la période entre l'heure d'arrivée et celle du départ excède 2½ heures. On doit bien comprendre qu'il s'agit ici du temps prévu et non effectif puisque l'information concernant les heures de départ et d'arrivée provient des horaires planifiés par les transporteurs tels que soumis à l'O.A.G. quelque mois avant leurs entrées en vigueur. Une des difficultés de cette étape concerne la reconnaissance de plusieurs voyages pour les mêmes destinations comme, par exemple, deux allers-retours entre les mêmes paires de villes.

Après avoir identifié les destinations dans les voyages, nous ne conservons que les allers-retours contenus dans les voyages complétés. La raison à cela fut exposée au chapitre 2. Tous les voyages incomplets sont conservés. Les voyages incomplets avec plusieurs destinations sont divisés en allers-simples. Par exemple, le voyage incomplets Montréal-Toronto-Vancouver est divisé en deux allers-simples: Montréal-Toronto et Toronto-Vancouver.

5.1.5 Identification des itinéraires

A la suite de la dernière étape nous avons identifié les allers-retours, les allers-simples, les temps d'envolée, les temps de transfert et les prix effectivement payés par les individus. On peut donc dire que nous possédons à ce niveau tous les chemins individuels utilisés. Nous sommes maintenant confrontés à repérer, de ces chemins, les itinéraires pour les allers. On se rappellera qu'un itinéraire désigne tous les chemins, pour une classe tarifaire donnée, avec les mêmes: temps d'envolée, temps de transfert et prix.

La définition au sens strict d'un itinéraire conduit à un dénombrement excessif d'itinéraires pour un marché. Des différences de prix entre les agences de voyages, des modifications de prix des transporteurs pendant l'année, des clauses spéciales à l'achat des billets, des temps d'envolée quelque peu différents selon la direction et/ou le type d'appareil en sont les causes. Un examen des itinéraires répertoriés nous conduisit à la conclusion qu'une définition plus large s'imposait. Nous voulons donc substituer au critère d'unicité des variables temps et prix celui de domaines pour les valeurs des temps et du prix. Ceci revient à chercher la(les) valeur(s) représentative(s) d'une variable. Présentons la méthode que nous proposons pour solutionner ce problème.

Elle consiste, pour un marché donné (une paire origine-destination) à faire des régressions de moindre carrés ordinaires dont les observations sur les variables dépendantes sont les valeurs observées pour le prix, le temps de tranfert et le temps d'envolée tandis que les variables explicatives sont des variables auxiliaires. L'idée consiste à traiter l'ensemble des valeurs observées comme des paramètres puis à tester l'égalité de certains coefficients entre eux. Une fois les tests statistiques complétés les coefficients

correspondent aux valeurs représentatives retenues pour une variable particulière. Formellement la méthode choisie s'exprime comme suit:

$$\text{Soit } \underline{P} \equiv \begin{bmatrix} \underline{P}_1 \\ \underline{P}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{P}_n \end{bmatrix},$$

$$\text{où } \underline{P}_i \equiv \begin{bmatrix} p_{i\,1} \\ p_{i\,2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p_{i\,n_i} \end{bmatrix}$$

un vecteur ayant n_i éléments $p_{i\,j}$ identiques, $j=1,..,n_i$, $i=1,2,..,n$. $\underline{P}$ représente pour une classe tarifaire et un marché particulier le prix, le temps de transfert ou le temps d'envolée. Le vecteur $\underline{P}$ contient donc toutes les valeurs observées pour une variable particulière à l'intérieur d'un marché pour une classe tarifaire.

Posons l'équation suivante

$$\underline{P} = \begin{bmatrix} 1. & 0. & . & 0. \\ 1. & 0. & . & 0. \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 1. & 0. & . & 0. \\ 0. & 1. & . & 0. \\ 0. & 1. & . & 0. \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 0. & 1. & . & 0. \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 0. & 0. & & 1. \\ 0. & 0. & & 1. \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ 0. & 0. & & 1. \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ . \\ . \\ \delta_n \end{bmatrix} + \zeta, \qquad (5.1)$$

où ζ est un vecteur d'erreurs de la même longueur que le vecteur $\underline{P}$. Si les paramètres δ sont estimés avec la méthode des moindres carrés ordinaires, alors on est assuré que $\delta_i \equiv p_{i,j}$ pour $j=1,..,n_i$, $i=1,..,n$. Nous proposons de "tester" l'égalité de certains δ en vue de pouvoir regrouper différentes valeurs. Toutefois on ne peut utiliser des tests économétriques standards, puisque dans notre cas l'hypothèse H_1 correspond à une variance nulle pour la variable aléatoire ζ. Nous avons donc dû avoir recours à une règle ad hoc. Nous acceptons l'égalité de deux coefficients si cette égalité ne réduit pas le R^2 de plus de .02 . Ce critère fut obtenu après examen des résultats produits. En résumé nous traitons l'ensemble des valeurs observées pour les caractéristiques des itinéraires (prix, temps de transfert, temps d'envolée) comme des paramètres et testons l'hypothèse d'égalité de certains coefficients. Nous réduisons ainsi à certaines valeurs représentatives l'ensemble des valeurs du départ. Le critère de .02 correspond à un test de Fisher avec $\alpha_1 = 10$ et $\alpha_2 = 120$ si le R^2 initial est de .99. Ceci provient de la relation entre le test de Fisher et le R^2 :

$$F_{\alpha_1,\alpha_2} = (R_2^2 - R_1^2) / (1 - R_2^2),$$

où $R_2^2 = R^2$ sous l'hypothèse nulle;

$R_1^2 = R^2$ sous l'hypothèse alternative.

5.2 VARIABLES EXPLICATIVES DU MODE AUTOBUS

Nous établissons dans cette section comment nous caractérisons en termes de prix, de temps et de fréquence un aller entre deux villes en autobus. L'Official Canadian Bus Guide (O.C.B.G.) nous fournit les heures de départs et d'arrivées, la fréquence de départs et les journées d'opération de la semaine des compagnies d'autobus qui opèrent au Canada.

Avec la liste des paires de villes contenue dans les allers dérivés selon la procédure établie à la section 1.4, nous avons trouvé, du O.C.B.G., le chemin le plus court en terme de temps de parcours pour chaque paire de villes. Une fois les chemins pertinents établis nous avons pris connaissance auprès des compagnies d'autobus des tarifs en vigueur pendant 1983. Les compagnies sont: TerraTransport, Acadian Lines, SMT(Eastern), Voyageur, Greyhound Lines of Canada, Voyageur Colonial, Gray Coach Lines, Ontario Northland, Pacific Coach Lines.

Certains voyages nécessitent des nuitées lorsqu'une différence supérieure à quatre heures entre l'heure d'arrivée et celle de départ se présente. Une minimisation du nombre des nuitées ou du coût total du déplacement donnerait vraisemblablement des chemins différents de ceux obtenus avec la minimisation du temps total. Puisque nous ignorons les chemins effectivement utilisés nous devons avoir recours à un critère de comportement des individus. Nous supposons que les voyageurs utilisant l'autobus choisissent le chemin qui minimise le temps total du voyage.

Les caractéristiques du chemin le plus rapide en autobus pour toute paire o-d sont les suivantes: temps de parcours, temps de transferts, tarif, coûts des repas et des nuitées, nombre de départs hebdomadaires.

5.3 VARIABLES EXPLICATIVES DU MODE AUTO

Tout comme l'autobus, nous caractérisons le chemin le plus rapide en automobile entre les différentes paires de villes. A partir des cartes géographiques produites par le Canadian Automobile Association nous avons pour chaque segment de route la distance et la vitesse à l'aide desquelles on dérive un temps moyen pour le segment de route donné. Le coût d'effectuer un déplacement est calculé en incluant le coût d'essence, des nuitées et des repas. Pour calculer le coût de l'essence nous utilisons:

-une consommation moyenne d'essence (l/km) des automobiles de la province de la ville d'origine du déplacement. Ces données proviennent de l'Enquête sur la consommation de carburant des automobiles, avril, mai et juin 1983, Ministère des approvisionnements et services Canada 1984 (8-5400-501);

-un prix de l'essence moyen par province.

Après avoir dérivé le chemin le plus rapide pour chaque paire origine-destination, nous avons tenté d'ajouter au coût de l'essence un coût associé aux repas et aux nuitées. Pour ce faire nous avons supposé une journée typique d'un voyage en automobile se composant de 3 périodes de conduite de 4½ heures chacune, deux périodes d'une heure chacune consacrées aux dîner et souper et d'une nuitée de 8½ comprenant le déjeuner. On suppose le prix d'un souper de 12$, celui d'un dîner de 7$ et de 45$ pour une nuitée. Les repas sont pris si la destination se trouve au-delà de 2½ heures après la période de conduite de 4½ heures. La nuitée a lieu si la destination est au-delà de 5 heures de conduite.

5.4 VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES

Nous avons à notre disposition les données sur l'ensemble des subdivisions de recensement du Canada de 1981. Nous avons alors agrégé les subdivisions en agglomérations de recensement ou régions métropolitaines de recensement selon le cas. Ainsi la ville de Montréal correspond à la région métropolitaine de recensement mais Sept-îles est une subdivision de recensement. L'ajustement de l'information de 1981 à 1983 fut réalisé avec les taux de croissances des villes et des provinces pour la période 1981-1986 disponibles avec les données démographiques du recensement de 1986.

CHAPITRE VI

RESULTATS

6.1 VARIABLES EXPLICATIVES RETENUES

Dans cette section nous définissons les variables explicatives retenues dans le modèle. Celles-ci se regroupent en trois catégories:

- réseau aérien;
- réseau des autres modes;
- socio-économiques.

6.1.1 Réseau Aérien

Temps de déplacement (TRAVELT) : temps de l'itinéraire (en minutes) passé à l'intérieur de l'avion.

Temps de transfert (TRANSFET) : temps de l'itinéraire (en minutes) requis pour effectuer les transferts, les arrêts, l'accès à l'aéroport et au centre-ville.

Nombre de départs (FREQUEN) : nombre de départs de l'itinéraire avec Air Canada et Cp Air pendant l'année 1983.

Prix du déplacement (COST) : prix (taxe incluse) de l'itinéraire.

Premiere classe (FIRST C) : variable auxiliaire qui indique la présence de(s) chemin(s) avec la première classe dans l'itinéraire.

Deuxième classe (SECND C) : variable auxiliaire qui indique la présence de(s) chemin(s) avec la deuxième classe (tarif régulier "regular class") dans l'itinéraire.

Troisième classe (THIRD C) : variable auxiliaire qui indique la présence de(s) chemin(s) avec la troisième classe (ensemble des classes avec réductions) dans l'itinéraire.

Deux itinéraires (CTE1) : variable auxiliaire qui indique qu'un marché contient deux itinéraires.

Plus. itinéraires (CTE2) : variable auxiliaire qui indique qu'un marché contient plus que deux itinéraires.

Niveau de service (SIJC) : indice du niveau de service aérien pour un marché défini par l'équation (3.4).

6.1.2 Réseau des autres modes

*Temps auto,bus (TB*TC)* : temps (en minutes) du plus court chemin (p.c.c.) en autobus multiplié par le temps (en minutes) du p.c.c. en auto (sans arrêts).

Nombre de départs (FBUS) : nombre de départs hebdomadaires du p.c.c. en autobus.

Prix autobus ($BUS) : prix du p.c.c. en autobus.

Nuitées (NUITCAR) : nombre de nuitées contenues dans le p.c.c. en auto;

Fréquences autres (FCOMP) : nombre de départs effectués pour un marché, avec au plus un arrêt ou transfert, par les transporteurs aériens autres qu'Air Canada et CP Air pendant 1983.

Distance aérienne (DP) : distance aérienne entre deux villes.

Bateau (DBATEAU) : variable auxiliaire qui indique qu'un aller en auto ou autobus nécessite l'utilisation d'un traversier.

6.1.3 Socio-économiques

Attrait de la destination(POPGRAV): attrait de la ville j à la ville i = population j/ (Σk population k), où l'indice k désigne les villes de distance à la ville i inférieure de la distance entre les villes i et j.

Similitude linguistique (CULTURE): indice de similitude linguistique entre les villes défini comme, $L_{i\,j} = 100 - |L_i - L_j|$, où L_i (L_j) représente la proportion de la population de la ville i (j) de langue maternelle anglaise;

Immigrants internes (MIGIAPR): nombre de personnes qui ont immigré dans une ville depuis 1976 et qui proviennent d'une autre province canadienne;

Emigrants internes (EMIIAPR): nombre de personnes qui ont émigré d'une ville depuis 1976 et qui se sont dirigées dans une autre province canadienne;

Population (POP83): population estimée de la ville pour l'année 1983;

Scolarité (ECOUNA): nombre de personnes dans la ville ayant un diplôme universitaire divisé par le nombre de diplômés universitaires dans la province;

Revenu (RMPMOY): revenu moyen de la population de la ville;

Constante (CONSTANT): constante de la régression égale à 1.

6.2 LA SPECIFICATION DU MODELE

Dans cette section nous présentons la spécification du modèle. Débutons par détailler certains aspects.

6.2.1 Préambules

6.2.1.1 Forme fonctionnelle

Tout comme plusieurs auteurs avant nous qui ont étudié la demande aérienne, nous retenons la forme fonctionnelle log-linéaire. Nous discutons dans le dernier chapitre comment nous comptons palier à cette restriction concernant la forme fonctionnelle. Chacune des variables explicatives non auxiliaires sont affectées par la transformation logarithmique.

6.2.1.2 Classe tarifaire

Nous regroupons toutes les classes tarifaires en une seule. L'estimation d'un modèle par classes tarifaires serait intéressant mais nous éloignerait de l'objectif initial de la thèse. Avec une seule classe tarifaire le modèle comporte 38 coefficient β et 9 coefficients γ. La prise en compte des classes tarifaires augmenterait ces nombres dans la même proportion que le nombre de classes tarifaires spécifié[23]. Une utilisation différente (prévision, analyse de marché, etc.) du modèle ANITA nécessiterait un traitement distinct des demandes selon

---

[23] Sans compter les variables de niveau de service $S_{ij}^{c'}$ qui devraient s'ajouter.

la classe tarifaire, mais nous ne jugeons pas cela indispensable pour nos fins. Il est tenu compte de l'existence de classes tarifaires dans les variables d'hétérogénéité des itinéraires (FIRST C, SECND C, THIRD C).

6.2.1.3 Inverse power transformation (IPT)

Dans l'équation de répartition des itinéraires apparaissent les paramètres λ_{IPT} et μ_{IPT} du modèle IPT. Nous contraignons ces paramètres aux valeurs 1.1 et -.99, respectivement. Ce faisant nous spécifions une forme fonctionnelle pour le modèle similaire à celle d'un logit. Toutefois il existe une différence majeure entre ces deux modèles: l'identification de constantes (CTE1, CTE2) qui apparaissent dans les fonctions de niveau de service de tous les itinéraires (voir section 3.5). Nous préférons à ce niveau de développement du modèle ANITA fixer les valeurs des paramètres car nous estimons que leurs calculs nécessiteraient une analyse spéciale concernant la définition du niveau de service avec la présence des paramètres de IPT. Nous en rediscuterons dans le dernier chapitre.

6.2.2 Spécification du modèle

6.2.2.1 Réseau Aérien (Z_{ijt})

TRAVELT, TRANSFET

Nous avons décidé de discerner le temps de déplacement en avion en deux éléments: TRAVELT, TRANSFET. Ainsi nous permettons l'élasticité des demandes au temps d'envolée de différer de celle par rapport au temps de transfert. Nous nous attendons à des signes négatifs dans les deux cas et une désutilité supérieure causée par TRANSFET.

COST

Le prix inclue correspond à celui effectivement payé par les voyageurs. Nous présumons une moins grande désirabilité aux itinéraires avec un prix élevé dès lors à un signe négatif pour le coefficient de COST.

FREQUEN

Comme nous l'avons mentionné à la section 3.3.1.3 la mesure retenue pour la fréquence concerne le nombre de départs et non le nombre de sièges disponibles. Nous présumons que le nombre de départs représente une meilleure approximation du temps d'attente que les personnes doivent envisager en vue d'effectuer un déplacement. Un nombre élevé de départs signifie un temps d'attente moyen faible, donc une augmentation de FREQUEN doit accroître la demande aérienne.

FIRST C, SECND C, THIRD C

La présence des variables FIRST C, SECND C et THIRD C sert à discerner les itinéraires hétérogènes selon la qualité du service (position dans l'avion, service à bord, lieux d'attente, etc.). La présence d'une classe tarifaire devrait être associée à une demande aérienne plus élevée.

CTE1, CTE2

Nous voulons tester avec ces deux variables auxiliaires si la répartition des itinéraires à l'intérieur d'un marché est modifiée par le nombre d'itinéraires du marché. Mais comme il s'agit de constantes du modèle de répartition, elles peuvent avoir d'autre fonctions.

6.2.2.2 Réseau des autres modes

TB*TC (M_{ij})

Pour fins de simplifications nous contraignons, comme d'autres auteurs l'ont fait, les coefficients des variables des temps auto et autobus à avoir la même valeur. Cependant cette contrainte cache un problème de spécification. En effet, Domencich et al. (1968) fixèrent certains paramètres à zéro à cause de problèmes de signes. Peers Bevilaqua (1976) usèrent, tout comme nous, de contraintes d'égalité de coefficients. Récemment Gaudry et Dagenais (1987) ont proposé une solution dans le cadre d'une demande de transport agrégée pour tous les modes. Cette solution fut aussi testée avec succès avec un modèle de répartition des demande de transport. Le contexte ici est quelque peu différent, puisque nous analysons la demande d'un seul mode. La contrainte d'égalité s'avère être fort utile. Nous estimons que la suppression de cette contrainte nous entraînerait dans des considérations qui dépassent largement les objectifs de cette thèse.

Une augmentation de TB*TC signifie, caeteris paribus, une hausse de la demande aérienne à cause d'un transfert des déplacements en auto et autobus vers le mode aérien. De plus on doit s'attendre à une élasticité de la demande aérienne de TB*TC moindre que celle de TRAVELT ou TRANSFET.

NUITCAR (M_{ij})

Cette variable sert de substitut aux coûts automobile. La variable du coût automobile que nous avons construite s'est avérée fortement correlée avec celle du temps automobile (ρ = .99) en dépit de nos efforts pour l'en différencier (consommation moyenne provincial d'essence, vitesse sur les segments de route, prix moyen provincial d'essence).

FCOMP (M_{ij})

Puisque la demande que nous analysons est uniquement celle des transporteurs Air Canada et CP Air, nous devons tenir compte de la présence des autres transporteurs aériens. Puisque les temps de voyages sont relativement les mêmes et que nous ne disposons d'aucune information reliée aux prix pratiqués par les autres transporteurs, nous avons choisi de mesurer la présence des autres transporteurs par le nombre de départs avec les transporteurs aériens autres que Air Canada et CP Air.

DP (X_{ij})

En principe la distance ne devrait pas intervenir dans le modèle de demande tel que nous le spécifions. Toutefois cette variable s'avère fort importante. Nous pouvons tenter d'expliquer sa présence par l'absence de variables socio-économiques reliées à l'attraction mutuelle entre les villes. Il se peut aussi que sa présence soit reliée aux problèmes de spécification dont on a fait état pour la variable TB*TC.

DBATEAU (X_{ij})

Cette variable peut posséder un double effet. Le premier concerne des ennuis supplémentaires reliés à la nécessité d'utiliser un traversier lorsque l'on utilise les modes auto et autobus. Le second pourrait être un plus faible échange entre les villes du fait que l'une d'elles n'est pas rattachée au continent.

6.2.2.3 Variables socio-économiques

POPGRAV (X_{ij})

Cette variable sert à indiquer la compétition possible qui peut exister dans le choix des destinations. Un plus grand nombre de déplacements est anticipé de la ville i à la ville j que de la ville k à la ville l s'il y a moins de villes autour de la ville i qu'autour de la ville k.

CULTURE (X_{ij})

Différents chercheurs ont reconnu l'importance d'identifier les différences linguistiques entre les villes canadiennes comme source d'explication des déplacements. En général, moins de déplacements sont anticipés entre deux villes de compositions linguistiques différentes.

MIGIAPR (X_i)

On s'attend à ce qu'une ville avec plusieurs nouveaux arrivants produise davantage de déplacements en raison d'affiliations familiales ou autres de ces nouveaux arrivants.

EMIIAPR (X_j)

On s'attend à ce qu'une ville avec plusieurs nouveaux départs attirent davantage de déplacements en raison d'affiliations familiales ou autres de ces nouveaux départs.

ECOUNA, RMPMOY (X_i, X_j)

Plusieurs enquêtes soulignent la présence d'un niveau de scolarisation et d'un revenu moyen plus élevé des voyageurs en avion comparativement aux voyageurs avec les autres modes.

6.3 PRESENTATION DES RESULTATS

6.3.1 Préambules

6.3.1.1 Forme estimée

Suite aux simplifications exposées à la section 6.2.1, la forme du modèle ANITA que nous avons estimée est la suivante[24] :

$$T_{iji} = \beta_0 + (S_{ij}+S_{ji})\beta_1 + X_i\beta_3 + X_j\beta_4 + (M_{ij}+M_{ji})\beta_5 + X_{ij}\beta_6 + \epsilon_{iji} \quad (6.1)$$

$$T_{ij} = \gamma_0 + S_{ij}\gamma_1 + X_i\gamma_3 + X_j\gamma_4 + M_{ij}\gamma_5 + X_{ij}\gamma_6 + \epsilon_{ij} \quad (6.2)$$

$$\frac{O_{ijt}}{O_{ij}} = \frac{[\,(\,1.1\exp(\,Z_{ijt}\,\theta\,)+1\,)^{1.1} - .99\,]\;\exp(u_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n_{ij}} [\,(\,1.1\exp(\,Z_{ijv}\,\theta\,)+1\,)^{1.1} - .99\,]\;\exp(u_{ijv})} \quad (6.3)$$

$$S_{ij} \equiv \log\{\sum_{v=1}^{n_{ij}} \exp(\theta_1 F_{ijv}+\theta_2 P_{ijv}+\theta_3 H_{ijv}+\theta_4 D_{ijv}+\theta_5 C_{ijv})\}, \quad (6.4)$$

où n_{ij} signifie le nombre d'itinéraires pour la paire de villes ij;

D_{ijv} = vecteur des variables FIRST C, SECND C, THIRD C;

C_{ijv} = vecteur des variables CTE1 et CTE2.

---

24 Toutes les variables non-auxiliaires des équations (6.1) et (6.2) sont affectées par une transformation logarithmique.

6.3.1.2 Elasticités

Le tableau 6.1 contient les élasticités et les tests t des variables qui apparaissent dans les équations allers-retours et allers-simples pour les différentes spécifications. Les élasticités pour les variables du réseau aérien sont calculés avec la formule (6.5).

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{Z}_k} = \delta_1 \theta_k / \bar{n}$$

$$\eta(\bar{T}, \bar{Z}_k) \equiv \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{Z}_k} \frac{\bar{Z}_k}{\bar{T}} = \frac{\delta_1 \theta_k \bar{Z}_k}{\bar{T}}, \qquad (6.5)$$

où $\bar{n}$ est le nombre moyen d'itinéraires par marché; Z_k remplace une des variables F, P, H, D, C; T remplace les allers-retours ou les allers-simples selon le cas; δ remplace β ou γ. Notons que les élasticités sont calculées au point moyen pour les valeurs non-nulles de ces variables[25]. Les élasticités des autres variables dans les équations (6.1) et (6.2) proviennent de la même définition que (6.5), mais qui s'exprime dans ces cas par (6.6):

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{Z}_k} \frac{\bar{Z}_k}{\bar{T}} = \delta_k, \qquad (6.6)$$

où Z_k remplace ici SIJC, TB*TC, FBUS, ... , RMPMOY; δ_k sont les paramètres β ou γ selon le cas.

Nous ne comparerons pas les élasticités du tableau 6.1 à celles obtenues par d'autres auteurs. Cela parce que les élasticités du tableau 6.1 ne concernent que la demande d'Air Canada et de Cp Air et non les élasticités d'une demande totale. De plus une modification de la définition des élasticités serait nécesssaire. En effet on devrait dériver la sensibilité des allers et non des allers-retours ou des allers-simples par rapport aux variables explicatives.

---

25 La définition retenue de l'élasticité correspond à l'équation (43) dans Dagenais et al. (1987).

6.3.1.3 Estimation conditionnelle

La première colonne du tableau 6.1 contient les résultats des équations (6.1)-(6.4) lorsque les coefficients γ et β sont estimés conditionnellement aux paramètres θ. La supputation du vecteur θ provient de la maximisation de la fonction de vraisemblance suivante:

$$\mathcal{L} = \sum_{c} -N_{3c} \cdot .5 \ln(\sigma^2_{3c}) - .5 \left[\underline{Y}_3^c - \underline{\Gamma}^c\right]' \left[\underline{Y}_3^c - \underline{\Gamma}^c\right] / \sigma^2_{3c} . \qquad (6.7)$$

La fonction (6.7) correspond à la partie de l'équation (4.4) pour l'échantillon des observations avec les itinéraires. Le vecteur θ ainsi calculé est alors remplacé dans l'équation (6.4) pour définir la variable du niveau de service qui servira aux régressions des équations (6.1) et (6.2). Cette procédure fut utilisée par différents auteurs: Gaudry et Wills (1978), Oum, Threteway et Gillen (1984), Monsod (19..).

La deuxième colonne du tableau 6.1 correspond à l'estimation réalisée, à notre connaissance pour la première fois, des paramètres β, γ et θ simultanément. Nous avons eu recours pour ce faire à l'algorithme d'optimisation de Fletcher et Powell (1963).

Les colonnes 3) à 6) représentent l'estimation telle qu'exposée à la section 4.2 des modèles NR-DPS, DPR-DPS, NR-NS et DPR-NS.

6.3.2 BENEFICES DE L'ESTIMATION SIMULTANEE

La comparaison des colonnes 1) et 2) du tableau 6.1 nous renseigne sur les différences des élasticités obtenues avec et sans une estimation simultanée de l'ensemble des paramètres.

Exeption faite de la variable FREQUEN, on remarque un accroissement impressionnant (le double) des élasticités des variables du réseau aérien pour l'équation des allers-retours dans le cas de l'estimation simultanée;

Hormis les élasticités du réseau aérien de l'équation des allers-retours les modifications des élasticités obtenues avec et sans une estimation conditionnelle sont mineures.

Le logarithme de la fonction de vraisemblance s'est accru de 37.23 points. La statistique calculée de χ^2 est alors 74.46. On rejette donc l'hypothèse que les paramètres du maximum de vraisemblance sont ceux estimés conditionnellement, car $74.46 > \chi^2_{50;5\%} = 67.5$[26].

En résumé, à l'exeption des variables du réseau aérien pour l'équation des allers-retours, on note peu de changements entre une estimation simultanée et une estimation conditionnelle. Toutefois on ne peut accepter l'hypothèse que les coefficients de l'estimation conditionnelle sont ceux du maximum de vraisemblance.

---

26 Le nombre de degrés de liberté est calculé de la façon suivante:

TABLEAU 1: ELASTICITES, VALEURS DE VRAISEMBLANCE

ALLERS-RETOURS

VARIABLE	CODE		VALEURS DES ELASTICITES (TEST-T)						
			1) DGR-DGS (cond.)	2) DGR-DGS (simul.)	3) NR-DPS	4) DPR-DPS	5) NR-NS	6) DPR-NS	7) DGR-DPS
Réseau aérien									
temps de déplacement	TRAVELT	OD	-.425	-1.143	-2.125	0.000	-2.135	0.000	-2.097
			(-13.256)	(-14.702)	(-17.543)	(---)	(-17.571)	(---)	(-18.031)
temps de transfert	TRANSFET	OD	-.488	-1.260	-1.864	0.000	-1.870	0.000	-1.854
			(-19.805)	(-21.102)	(-18.662)	(---)	(-18.646)	(---)	(-20.065)
prix du déplacements	COST	OD	-.393	-1.145	-1.476	0.000	-1.480	0.000	-1.466
			(-9.086)	(-10.688)	(-8.899)	(---)	(-8.893)	(---)	(-9.232)
nombre de départs	FREQUEN	OD	.170	.283	.529	0.000	.532	0.000	.530
			(29.061)	(22.038)	(17.658)	(---)	(17.695)	(---)	(21.245)
premiere classe	FIRST C	OD	.115	.566	.558	0.000	.562	0.000	.555
			(4.347)	(9.168)	(4.455)	(---)	(4.471)	(---)	(5.091)
deuxième classe	SECND C	OD	.355	.711	1.350	0.000	1.363	0.000	1.341
			(14.640)	(12.644)	(13.636)	(---)	(13.704)	(---)	(14.446)
troisième classe	THIRD C	OD	.054	.189	.321	0.000	.325	0.000	.319
			(2.225)	(3.209)	(3.348)	(---)	(3.369)	(---)	(3.473)
2 itinéraires	CTE1	OD	.270	1.082	2.036	0.000	2.042	0.000	2.010
			(8.123)	(13.626)	(15.770)	(---)	(15.745)	(---)	(15.903)
plus. itinéraires	CTE2	OD	.193	.788	1.666	0.000	1.666	0.000	1.635
			(5.435)	(9.497)	(11.722)	(---)	(11.668)	(---)	(12.066)
niveau de service	SIJC+SJIC	OD	.300	.356	.577	0.000	.579	0.000	.574
			(32.355)	(33.242)	(.763)	(---)	(.762)	(---)	(1.216)
Réseau des autres modes									
temps auto,bus	TBSTC	OD	.102	.081	.007	0.000	.004	0.000	.010
			(1.864)	(1.476)	(.002)	(---)	(.001)	(---)	(.004)
nombre de départs	FBUS	OD	-.191	-0.124	-.656	0.000	-.653	0.000	-.640
			(-3.552)	(-2.578)	(-.200)	(---)	(-.199)	(---)	(-.317)
prix autobus	SBUS	OD	.620	.664	2.155	0.000	2.172	0.000	2.082
			(5.142)	(6.092)	(.207)	(---)	(.209)	(---)	(.302)
nuitées	NUITCAR	OD	-.058	.067	-.108	0.000	-.115	0.000	-.095
			(-.845)	(1.116)	(-.023)	(---)	(-.025)	(---)	(-.035)
fréquences autres	FCOMP	OD	-.121	-0.110	-.122	0.000	-.121	0.000	-.083
			(-4.230)	(-4.170)	(-.079)	(---)	(-.078)	(---)	(-.081)
distance aérienne	DP	OD	-.778	-0.532	-1.054	-1.150	-1.046	-1.149	-.189
			(-8.690)	(-6.450)	(-.141)	(-3.309)	(-.140)	(-3.298)	(-.040)
bateau	DBATEAU	OD	-.247	-0.268	-.270	-.005	-.268	-.005	.115
			(-2.812)	(-3.596)	(-.047)	(-.014)	(-.047)	(-.015)	(.032)

TABLEAU 1: ELASTICITES, VALEURS DE VRAISEMBLANCE (suite)

ALLERS-RETOURS

VARIABLE	CODE		VALEURS DES ELASTICITES (TEST-T)						
			1) DGR-DGS (cond.)	2) DGR-DGS (simul.)	3) NR-DPS	4) DPR-DPS	5) NR-NS	6) DPR-NS	7) DGR-DPS
Socio-économiques									
population de l'aire	POPGRAV	OD	.143	.111	.044	-.186	.047	-.186	.013
			(2.830)	(2.474)	(.014)	(-1.025)	(.015)	(-1.021)	(.007)
culture	CULTURE	OD	.271	.239	.422	.611	.421	.610	.662
			(7.130)	(7.281)	(.185)	(3.433)	(.185)	(3.421)	(.411)
immigrants internes	MIGIAPR	O	.087	.115	.148	-.047	.150	-.047	-.373
			(2.110)	(3.249)	(.058)	(-.318)	(.058)	(-.315)	(-.236)
population	POP83	O	.315	.266	.285	.487	.281	.486	.388
			(8.261)	(7.764)	(.111)	(3.554)	(.110)	(3.542)	(.251)
scolarité	ECOUNA	O	.195	.160	.193	.484	.191	.483	.531
			(6.541)	(6.238)	(.098)	(5.137)	(.097)	(5.116)	(.506)
revenu	RMPMOY	O	2.324	2.040	2.555	4.944	2.550	4.942	5.293
			(6.652)	(6.695)	(.095)	(3.766)	(.095)	(3.754)	(.401)
constante	CONSTANT	O	-51.775	-48.860	-67.705	-109.461	-67.607	-109.418	-102.885
			(-11.685)	(-12.565)	(-.204)	(-6.378)	(-.203)	(-6.362)	(-.581)
émigrants internes	EMIIAPR	D	.141	.166	-.053	.152	-.055	.152	-.621
			(2.004)	(2.693)	(-.012)	(.612)	(-.012)	(.609)	(-.209)
population	POP83	D	.127	.101	.344	.510	.340	.510	.607
			(2.317)	(2.062)	(.095)	(2.623)	(.094)	(2.613)	(.280)
scolarité	ECOUNA	D	.210	.179	.271	.397	.271	.397	.481
			(7.504)	(7.362)	(.139)	(4.100)	(.139)	(4.085)	(.395)
revenu	RMPMOY	D	2.001	1.933	2.747	4.434	2.748	4.433	3.232
			(7.029)	(7.710)	(.137)	(4.160)	(.137)	(4.149)	(.279)
CORRELATION MULTIPLE	R^2		.822	.835	.249	.272	.249	.272	.250
LOG VRAISEMBLANCE	$\mathcal{L}$		-1394.773	-1357.543	-2254.191	-2715.045	-2256.557	-2715.210	-2645.286
NOMBRE DE DEGRES DE LIBERTE			50		29	29	29	29	29
χ^2 CALCULE			74.46		1793.30	2715.01	1798.03	2715.33	2575.49
χ^2 THEORIQUE (5%)			67.50		42.56	42.56	42.56	42.56	42.56
NOMBRE D'OBSERVATIONS			766	766	766	766	766	766	766

TABLEAU 1: ELASTICITES, VALEURS DE VRAISEMBLANCE (suite)

ALLERS-SIMPLES

VARIABLE	CODE		VALEURS DES ELASTICITES (TEST-T)						
			1) DGR-DGS (cond.)	2) DGR-DGS (simul.)	3) NR-DPS	4) DPR-DPS	5) NR-NS	6) DPR-NS	7) DGR-DPS
Réseau aérien									
temps de déplacement	TRAVELT	OD	-.805	-1.062	0.000	-3.804	0.000	-3.826	-2.097
			(-13.256)	(-14.702)	(---)	(-16.300)	(---)	(-16.288)	(-18.031)
temps de transfert	TRANSFET	OD	-.924	-1.170	0.000	-3.481	0.000	-3.504	-1.854
			(-19.805)	(-21.102)	(---)	(-18.508)	(---)	(-18.461)	(-20.065)
prix du déplacement	COST	OD	-.746	-1.064	0.000	-2.856	0.000	-2.880	-1.486
			(-9.086)	(-10.688)	(---)	(-9.004)	(---)	(-9.010)	(-9.232)
nombre de départs	FREQUEN	OD	.323	.263	0.000	1.041	0.000	1.050	.530
			(29.061)	(22.038)	(---)	(20.708)	(---)	(20.754)	(21.245)
première classe	FIRST C	OD	.219	.526	0.000	1.049	0.000	1.065	.555
			(4.347)	(9.168)	(---)	(4.898)	(---)	(4.729)	(5.091)
deuxième classe	SECND C	OD	.673	.660	0.000	2.401	0.000	2.428	1.341
			(14.640)	(12.644)	(---)	(13.084)	(---)	(13.121)	(14.446)
troisième classe	THIRD C	OD	.102	.175	0.000	.556	0.000	.559	.319
			(2.225)	(3.209)	(---)	(3.090)	(---)	(3.086)	(3.473)
2 itinéraires	CTE1	OD	.511	1.006	0.000	3.373	0.000	3.394	2.010
			(8.123)	(13.626)	(---)	(14.057)	(---)	(14.047)	(15.903)
plus. itinéraires	CTE2	OD	.365	.732	0.000	2.320	0.000	2.280	1.635
			(5.435)	(9.497	(---)	(8.821)	(---)	(8.608)	(12.066)
niveau de service	SIJC	OD	.568	.661	0.000	2.128	0.000	2.143	1.147
			(31.260)	(31.516)	(---)	(.418)	(---)	(.405)	(5.115)
Réseau des autres modes									
temps auto, bus	TBUTC	OD	.171	.162	0.000	.232	0.000	.235	.019
			(2.585)	(2.617)	(---)	(.034)	(---)	(.033)	(.034)
nombre de départs	FBUS	OD	-.203	-.153	0.000	-.826	0.000	-.763	-1.280
			(-5.315)	(-4.456)	(---)	(-.164)	(---)	(-.148)	(-2.344)
prix autobus	SBUS	OD	.558	.588	0.000	3.260	0.000	3.193	4.164
			(5.187)	(5.624)	(---)	(.200)	(---)	(.191)	(2.639)
nuitées	NUITCAR	OD	-.0315	.076	0.000	-.393	0.000	-.388	-.094
			(-.474)	(1.253)	(---)	(-.050)	(---)	(-.048)	(-.130)
fréquences autres	FCOMP	OD	-.0607	-.051	0.000	-.102	0.000	-.096	-.080
			(-1.928)	(-1.624)	(---)	(-.042)	(---)	(-.039)	(-.291)
distance aérienne	dP	OD	-.9597	-.755	-1.295	-.682	-1.227	-.570	-2.913
			(-9.523)	(-7.733)	(-5.615)	(-.075)	(-5.265)	(-.060)	(-3.563)
bateau	BBATEAU	OD	-.0737	-.095	.260	-.163	.226	-.218	-.462
			(-.864)	(-1.263)	(1.081)	(-.019)	(.945)	(-.025)	(-.608)

TABLEAU 1: ELASTICITES, VALEURS DE VRAISEMBLANCE (suite)

ALLERS-SIMPLES

VARIABLE		CODE	VALEURS DES ELASTICITES (TEST-T)						
			1) DGR-DGS (cond.)	2) DGR-DGS (simul.)	3) NR-DPS	4) DPR-DPS	5) NR-NS	6) DPR-NS	7) DGR-DPS
Socio-économiques									
population de l'aire	POPGRAV	OD	.169	.133	-.245	.241	-.185	.389	-.193
			(3.548)	(3.062)	(-1.855)	(.045)	(-1.265)	(.048)	(-.392)
culture	CULTURE	OD	.332	.306	.326	.034	.345	.086	-.143
			(10.147)	(10.280)	(2.875)	(.008)	(3.039)	(.021)	(-.374)
immigrants internes	MIGIAPR	O	.093	.116	.363	.350	.392	.448	.825
			(2.611)	(3.622)	(3.341)	(.085)	(3.554)	(.102)	(1.945)
population	POPS3	O	.284	.250	.114	-.226	.171	-.248	-.243
			(7.592)	(7.258)	(1.133)	(-.050)	(1.681)	(-.053)	(-.803)
scolarité	ECOUNA	O	.240	.202	.303	.080	.233	-.084	-.196
			(9.251)	(8.617)	(4.349)	(.025)	(3.362)	(-.019)	(-.646)
revenu	RMPMOY	O	2.489	2.215	2.739	-1.488	3.273	-.371	-.519
			(7.434)	(7.326)	(3.877)	(-.037)	(3.445)	(-.009)	(-.153)
constante	CONSTANT	O	-61.972	-59.706	-78.701	-2.092	-77.027	.158	-12.181
			(-15.067)	(-15.944)	(-7.010)	(-.004)	(-6.779)	(.000)	(-.289)
émigrants internes	EMIIAPR	D	.286	.295	.831	.885	.648	.352	1.457
			(4.636)	(5.220)	(4.656)	(.128)	(3.580)	(.050)	(2.207)
population	POPS3	D	.104	.092	.127	-.483	.171	-.248	-.273
			(2.226)	(2.116)	(.569)	(-.081)	(1.273)	(-.042)	(-.544)
scolarité	ECOUNA	D	.147	.127	.128	-.308	.233	-.084	-.442
			(6.165)	(5.866)	(2.012)	(-.098)	(3.530)	(-.021)	(-1.548)
revenu	RMPMOY	D	2.926	2.913	3.989	.887	3.273	-.371	.988
			(11.439)	(12.429)	(6.105)	(.029)	(4.855)	(-.011)	(.368)
CORRELATION MULTIPLE	R^2		.838	.848	.234	.185	.234	.185	.209
LOG VRAISEMBLANCE	$\mathcal{L}^*$		-1394.773	-1357.543	-2254.191	-2715.045	-2256.557	-2715.210	-2645.286
NOMBRE DE DEGRES DE LIBERTE			50		29	29	29	29	29
X^2 CALCULE			74.46		1793.30	2715.01	1708.03	2715.33	3575.49
X^2 THEORIQUE (5%)			67.50		42.56	42.56	42.56	42.56	42.56
NOMBRE D'OBSERVATIONS			957	957	957	957	957	957	957

6.3.3 Analyse des résultats du modèle de référence

Ayant établi la supériorité de l'estimation simultanée par rapport à une estimation conditionnelle aux paramètres θ nous procédons à une brève discussion des résultats de la seconde colonne du tableau 6.1.

6.3.3.1 Réseau aérien

On note tout d'abord la similarité des élasticités des équations des allers-retours et des allers-simples. Le regroupement de l'ensemble des classes tarifaires en une seule peut être la cause de l'égalité des élasticités des demandes par rapport aux variables TRAVELT et COST. On s'attend à une sensibilité de la demande supérieure par rapport au temps qu'à l'argent pour la première classe et pour la classe tarifaire régulière, mais l'inverse pour les classes tarifaires avec des escomptes. Il semble que les deux effets se compensent exactement. Tout comme nous l'anticipions, mais dans une moindre mesure, TRANSFET procure une désutilité supérieure à TRAVELT.

L'effet relatif de FREQUEN par rapport aux variables discutées dans le paragraphe précédent (environ cinq fois moins sensible) ne nous surprend guère dans la mesure où nous n'avons pas vraiment de base de comparaisons.

En tenant compte des différences de prix et de temps il s'avère que les demandes varient davantage suite à la présence de la deuxième et première classes que de celle des classes avec des escomptes. La différence de la qualité de services pourrait être à l'origine de ce résultat. Ce résultat pourrait aussi provenir du fait que la variable

FIRST C réflèterait la présence de marchés de tailles importantes (ex.:Toronto-Montréal, Toronto-Ottawa, etc.).

La constante contribue davantage à la variable "niveau de service" lorsque le marché est constitué d'un ou deux itinéraires qu'autrement. Un niveau très élevé des constantes causeraient des niveaux de services invariants par rapport aux variables de temps, d'argent et des classes tarifaires. Donc on peut interpréter le résultat en affirmant que les marchés avec plus de deux itinéraires sont plus sensibles aux variables présentes dans la définition du niveau de service que les marchés où il y a peu d'itinéraires. Ce qui semble, à notre avis, raisonnable. Toutefois, pour les marchés avec plus de deux itinéraires le niveau de la demande (allers-simples et allers-retours) est moins élevé que dans le cas où il n'y a que deux itinéraires. Ce dernier résultat laisse croire que lorsqu'il y a trois itinéraires ou plus c'est généralement pour des petits marchés et que le nombre relativement élevé d'itinéraires proviendrait de différences importantes dans les temps d'attente pour les chemins desservant ces marchés. Le fait que CTE1 soit plus grand que CTE2 ne signifie pas que les marchés avec deux itinéraires ont de plus grandes part de marché qu'autrement. Ce point est développé en annexe.

6.3.3.2 Réseau des autres modes

Les signes de toutes les variables de cette catégorie sont ceux anticipés à l'exception peut-être de celui de la variable DBATEAU. En effet il semble que l'effet d'éloignement du continent soit le facteur dominant. On notera que les élasticités des variables TB*TC, FBUS, $BUS et FCOMP sont toutes, comme prévu, inférieures aux élasticités des variables correspondantes du réseau aérien. Ces commentaires valent pour les deux équations. Trois variables possèdent des grandeurs

légèrement différentes d'une équation à l'autre, nommément: TB*TC, FCOMP et DBATEAU.

La variable DP n'est non seulement statistiquement significative mais sa présence est nécessaire pour l'obtention de signes et de grandeurs raisonnables des autres variables de cette catégorie. Ces résultats viennent appuyer les propos contenus dans la section 6.2.2.2.

6.3.3.3 Variables socio-économiques

RMPMOY employée en origine et en destination s'imposent comme les variables pour lesquelles les demandes sont les plus sensibles. Cela concorde avec les enquêtes sur les caractéristiques des voyageurs en avion. POP83 apparaît comme le seul facteur qui semble posséder une influence différenciée en origine de celle en destination.

6.3.4 Bénéfices de la désagrégation des allers

Nous tentons de donner une réponse à la question de la mesure du gain de distinguer parmi les allers, les allers-retours et les allers-simples. On établit la solution à cette question en deux parties:

- l'avantage d'une spécification des allers-retours et des allers-simples par rapport à des formulations conventionnelles (NR-DPS, DPR-DPS, NR-NS, DPR-NS) avec les allers;
- une spécification plus générale que NR et DPR.

6.3.4.1 Formulations conventionnelles

Les équations (6.7) à (6.11) résument les différentes formes correspondantes aux colonnes 2 à 6 du tableau 1. On se rappellera de la section 3.4 que les variables réseaux sont soient dans l'équation des allers-retours pour le caractère NR ou dans l'équation des allers-simples pour le caractère DPR.

DGR-DGS

$$O_{ij} = f\ (S_{ij}+S_{ji},\ S_{ij},\ M_{ij}+M_{ji},\ M_{ij},\ X_i,\ X_j,\ X_i+X_j,\ X_{ij}) \qquad (6.7)$$

(N) (DP) (N) (DP) (DP) (N)
(DG) (DG) (DG)

(NR, DPS)

$$O_{ij} = f\ (S_{ij}+S_{ji},\ ,\ M_{ij}+M_{ji},\ ,\ X_i,\ X_j,\ ,\ X_{ij}) \qquad (6.8)$$

(DPR, DPS)

$$= f\ (\ ,\ S_{ij},\ ,\ M_{ij},\ X_i,\ X_j,\ ,\ X_{ij}) \qquad (6.9)$$

(NR, NS)

$$O_{ij} = f\ (S_{ij}+S_{ji},\ ,\ M_{ij}+M_{ji},\ ,\ ,\ ,\ X_i+X_j,\ X_{ij}) \qquad (6.10)$$

(DPR, NS)

$$O_{ij} = f\ (\ ,\ S_{ij},\ ,\ M_{ij},\ ,\ ,\ X_i+X_j,\ X_{ij}). \qquad (6.11)$$

où DGR = Directionnel Généralisé Réseaux
DGS = Directionnel Généralisé Socio-économique
NR = Non-directionnel Réseaux
DPR = Directionnel Particulier Réseaux
NS = Non-directionnel Socio-économique
DPS = Directionnel Particulier Socio-économique

Les colonnes 3) à 6) contiennent les élasticités obtenues avec les quatre formulations conventionnelles. Nous les avons disposées selon leurs fréquences d'utilisation dans la littérature. Ainsi NR-DPS est une spécification virtuelle que personne n'a utilisé tandis que DPR-NS est la plus répandue.

Le lecteur notera tout d'abord des élasticités généralement moins élevées pour la colonne 2 que pour les colonnes 3 à 7. Nous expliquons ce résultalt à partir du commentaire énoncé à la section 6.3.1.2 et qui portait sur la distinction à faire entre les élasticités des allers-retours et des allers-simples versus celles des allers. On s'attend à une influence plus prononcée des variables explicatives du modèle ANITA sur les allers que sur les allers-retours ou sur les allers-simples en raison de la définition même des allers. Puisque les allers proviennent de la somme d'allers-retours et d'allers-simples il est clair que l'effet d'une variable explicative sur les allers sera supérieure à son effet sur les allers-retours ou sur les allers-simples en raison du fait que les allers sont plus grands ou égales aux allers-simples ou aux allers-simples.[27]

Les statitiques *t* et les coefficients de corrélation multiples des colonnes 3 à 6 sont beacoup plus faibles que ceux des colonnes 1 et 2. Ceci est dû au fait que l'explication pour les modèles NR-DPS, DPR-DPS, NR-NS et DPR-NS concerne les allers et non les allers-retours et les allers-simples. Donc il est normal d'observer des variances des termes résiduels pour les équations des allers-retours et des allers-simples supérieures à celles obtenues avec DGR-DGS.

A l'étude du tableau 1, différentes conclusions s'imposent:

i) La présence des variables des réseaux dans l'équation des allers-retours, colonnes 3 et 5, joue un rôle beaucoup plus important que celui des mêmes variables dans l'équation des allers-simples, colonnes 4 et 6, ce qui cause la supériorité du caractére NR sur

---

27 Il faut aussi supposé que l'influence de la variable explicative se fait dans la même direction pour les allers-retours et pour les aller-simples.

DPR. A priori on pourrait croire que cette conclusion ne puisse provenir que d'un test empirique. Cependant si l'on comprend que le modèle ANITA offre en fait une meilleure compréhension des allers en expliquant ses composantes, les allers-retours et les allers-simples, il apparaît alors évident qu'il est préférable de conserver dans l'explication fournie aux allers les valeurs des variables des réseaux pour les deux directions plutôt qu'uniquement les valeurs de la direction des allers;

ii) La comparaison des spécifications du caractère NS, colonnes 5 et 6, avec celles du caractère DPS, colonnes 3 et 4, nous indique peu de différences concernant les élasticités et les valeurs de $\mathcal{L}$. Nous rappelons que la spécification NS contraint l'égalité des coefficients (qui sont aussi les élasticités à cause de la forme logarithmique) γ_3 et γ_4;

iii)Plusieurs variables socio-économiques apparaissent avec le mauvais signe dans les colonnes 3 à 6 pour les deux équations. Notons que la majorité des mauvais signes se retrouvent surtout dans l'équation des allers-simples avec la spécification DPR, c'est-à-dire l'omission de la direction opposée pour la spécification des variables réseaux;

iv)Toutes les spécifications sont rejetées sur la base du test du ratio de vraisemblances. En effet toutes les statitiques de χ^2 calculées, $2(\mathcal{L}_{H_1} - \mathcal{L}_{H_0})$, excèdent de beaucoup le niveau théorique de χ^2 à un niveau de confiance de 95%, 42.56 .

6.3.4.2 Egalités des coefficients réseaux

Suite aux résultats de la section précédente on est à même de se poser la question si le cadre d'analyse pour les variables réseaux dans lequel nous posons la question de l'agrégation n'en serait pas un trop restrictif. Plutôt que de contraindre des coefficients à zéro, comme c'est le cas avec NR et DPR, nous supposons l'égalité des coefficients des variables réseaux de l'équation des allers-simples à ceux de l'équation des allers-simples. Reformulons le problème. Le modèle ANITA pour les allers s'exprime par les équations (4.9) ou (4.10).

$$O_{ij} = 2\beta_0 + \gamma_0 + 2(S_{ij} + S_{ji})\beta_1 + S_{ij}\gamma_1 + (X_i + X_j)(\beta_3 + \beta_4) + X_i\gamma_3 + X_j\gamma_4 + 2(M_{ij} + M_{ji})\beta_5 + M_{ij}\gamma_5 + X_{ij}(2\beta_6 + \gamma_6) + \epsilon_{iji} + \epsilon_{jij} + \epsilon_{ij}. \quad (4.9)$$

On récrit (4.9) de la façon suivante

$$O_{ij} = \gamma_0 + (S_{ij} + S_{ji})\gamma_1 + S_{ij}\gamma_2 + X_{ij}\gamma_5 + X_i\gamma_6 + X_j\gamma_7 + (M_{ij} + M_{ji})\gamma_8 + M_{ij}\gamma_9 + \varsigma_{ij} \quad (4.10)$$

où $\gamma_0 = 2\beta_0 + \gamma_0$, $\gamma_1 = 2\beta_1$, $\gamma_2 = \gamma_1$,

$\gamma_5 = 2\beta_6 + \gamma_6$, $\gamma_6 = \beta_3 + \beta_4 + \gamma_3$, $\gamma_7 = \beta_3 + \beta_4 + \gamma_4$

$\gamma_8 = 2\beta_5$, $\gamma_9 = \gamma_5$, $\varsigma_{ij} = \epsilon_{iji} + \epsilon_{jij} + \epsilon_{ij}$. (4.11)

Plutôt que de mettre γ_1 et γ_8 ou γ_2 et γ_9 à zéro comme dans le cas DPR ET NR, nous supposerons que $\gamma_1 = \gamma_2$ et $\gamma_8 = \gamma_9$. Nous obtenons alors le modèle des allers que nous dénommons DGR-DPS.

$$O_{ij} = \gamma_0 + (2S_{ij} + S_{ji})\gamma_1 + X_{ij}\gamma_5 + X_i\gamma_6 + X_j\gamma_7 + (2M_{ij} + M_{ji})\gamma_8 + \varsigma_{ij} \quad (6.12)$$

La colonne 7 contient les résultats de l'estimation de (6.12) selon la méthode exposée dans la section 4.2.

Le lecteur notera que cette reformulation donne des résultats semblables aux spécifications DPR-DPS et DP-NS et demeure bien inférieure aux formulations NR-DPS et NR-NS.

6.3.4.3 Résumé

Tant au niveau de la valeur de la fonction de vraisemblance que des élasticités calculées pour les variables réseaux il semble nécessaire d'effectuer une estimation des paramètres de l'équation de répartition simultanément à l'estimation des paramètres des équations de niveau.

Il appert qu'une spécification pour les allers avec des variables des réseaux qui tiennent compte, implicitement ou explicitement, de la direction opposée du déplacement est nettement préférable à une définition des mêmes variables uniquement pour la direction des allers. Puisque les déplacements d'une ville à l'autre comprennent les allers-retours T_{ij} et T_{ji} alors il est nécessaire d'inclure des variables réseaux pour les deux directions dans la spécification d'un modèle des allers.

Contrairement aux variables réseaux la distinction entre effet directionnel et non-directionnel pour les variables socio-économiques n'est pas supporté empiriquement. Ceci peut contribuer à expliquer pourquoi il y a autant d'auteurs qui ont utilisé la formulation NS que DPS.

Le fait que plusieurs changements de signes surviennent dans l'équation des allers-simples avec la spécification PDN suggère une influence importante de la spécification des variables réseux sur les variables socio-économiques. Plus précisément les similitudes et les différences des colonnes 3 à 7 du tableau 1 sont reliées à la formulation des variables réseaux: les résultats de NR-DPS et NR-NS, DPR-NS et DPR-DPS se ressemblent mais NR-DPS et DPR-NS, NR-NS et DPR-DPS diffèrent.

Les coefficients estimés avec les allers ($O_{i,j}$) pour les modèles NR-DPS, NR-NS, DPR-NS, DPR-DPS entraîne une faible capacité à expliquer les allers-retours ($T_{i,j,i}$) et les allers-simples ($T_{i,j}$) ce qui est réflété par des *t*-statistiques et des corrélations multiples beaucoup plus faibles que ceux de la colomne 2.

Des différences importantes du point de vue des valeurs de la fonction de vraisemblance et des élasticités résultent entre l'estimation du modèle ANITA avec et sans contraintes. La reconnaisance du lieu de résidence des voyageurs semblent donc être très importante.

Différentes observations limitent la portée de nos résultats: notre échantillon ne comprend que 65% de la demande canadienne; la demande aérienne de transport regroupe toutes les classes tarifaires; les caractéristiques du mode de transport train sont omises; l'exclusion des voyages complétés avec plusieurs destinations. Toutefois nous croyons qu'aucune d'elles ne puissent altérer substantiellement nos conclusions.

CHAPITRE VII
EXTENSIONS DU MODELE ANITA

La formulation du modèle ANITA nécessiterait quelques modifications si l'on envisageait de l'utiliser à des fins de prévisions de la demande aérienne ou d'analyses de marché. Nous exposons dans ce chapitre différentes extensions possibles pour son emploi à de telles fins.

7.1 ECHANTILLON COMPLET

La principale raison pour laquelle les résultats de l'estimation du modèle ANITA ne peuvent servir à des prévisions réside dans l'information partielle de la demande aérienne canadienne dont nous disposons. En effet l'information mise à notre disposition par Air Canada et Cp Air ne représente qu'environ 65% de la demande intérieure canadienne. Cette thèse nous a permis de constater que l'information désagrégée peut être extrêmement utile et que son traitement est réalisable. Une connaissance plus adéquate de la demande aérienne, nous l'avons vu, peut être obtenue en distinguant les allers-retours et les allers-simples. La condition préalable à tout développement du modèle ANITA réside dans l'obtention de l'information complète des transporteurs aériens.

7.2 DECOMPOSITION DE L'ERREUR

Nous discutons dans cette section de la possibilité de retrouver dans le terme d'erreur un élément commun à différentes observations. Par exemple, Quandt et Young (1969) avec des données sur les déplacements interurbains multi-modaux ont fait ressortir un terme d'erreur commun à tous les modes d'un marché. Ils dénomment ces termes:"les caractéristiques intrinsèques des marchés". Ils obtiennent ainsi une covariance entre la demande des modes pour un marché. On retrouve cette préoccupation d'identifier un élément de spécificité dans le terme aléatoire avec Sobienak (1972) qui dérive, à partir de coupes transversales répétées, des valeurs moyennes des erreurs associées aux marchés. Pour ces auteurs les valeurs communes de l'erreur ont une importance non négligeable dans l'explication des demandes de transport. D'autres auteurs (Lansig 1961; Long 1968, 1969; Ippolito, 1981) ont traité de la spécificité des villes en incluant des variable auxiliaires à certaines villes de l'échantillon. Il est en effet bien connu qu'il n'est pas possible d'identifier, pour chaque ville d'un échantillon, l'effet d'une variable auxiliaire et l'effet de variables continues associées à ces villes.[28] Il nous faut donc chercher dans une autre direction pour tenir compte de l'effet spécifique aux origines ou aux destinations dans les résidus associés à des paires origines-destinations.

---

28 Soit le simple modèle suivant:

$Y_{ij} = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \ldots + \beta_n D_n + \beta_{n+1} X_i + u_{ij}$

où $i,j = 1,..n$;

$i \neq j$;

D_k = variable auxiliaire égale à 1 si l'indice k possède la même valeur que i ou j, $k=1,..,n$;

X_i = variable socio-économique associée à l'origine du déplacement.

La collinéarité parfaite entre les variables explicatives du modèle provient de la relation suivante: $\sum_k D_k X_k = X_i$, $i=1,..,n$.

La forme de la décomposition de l'erreur proposée par Balestra et Nerlove (1966) est la suivante:

$$u_{i\,t} = u_i + \mu_t + e_{i\,t}, \qquad (7.1)$$

où $u_{i\,t}$ = erreur du modèle de la demande d'essence de la région i pendant la période t,

u_i = erreur particulière à la région i commune à toutes les périodes,

μ_t = erreur particulière à la période t commune à toutes les régions de l'échantillon.

Nous proposons une réinterprétation de la décomposition introduite par Balestra et Nerlove pour tenir compte de facteurs non observées spécifiques aux villes de l'échantillon et d'une covariance entre les déplacements qui ont une ville commune. La décomposition de l'erreur du modèle ANITA apparaît aux équations (1.8) et (1.9):

$$\epsilon^c_{iji} = \epsilon_i + \epsilon_j + e^c_{iji} \qquad (7.2)$$

$$\epsilon^c_{ij} = \epsilon_i + \epsilon_j + e^c_{ij} \qquad (7.3)$$

Le terme ϵ_i dans les équations (7.2) et (7.3) est substitué à celui de u_i de (7.1) et désigne l'erreur associée à la ville i de l'échantillon, tandis que le terme ϵ_j remplace μ_t et représente l'erreur associée à la ville j. La somme des termes ϵ_i et ϵ_j équivaut à une forme particulière de la décomposition suggérée par Quandt et Young et permet une covariance entre les déplacements qui originent de la même ville ou se dirigent vers une même ville. La structure de la matrice des variances-covariances est donnée par (1.13) à (1.15) que nous reproduisons ci-dessous:

$$E\left(\epsilon^{c}_{iji}\cdot\epsilon^{d}_{vpv}\right) = \begin{cases} 2\sigma^2_\epsilon + \sigma^2_\epsilon, & \text{si } i=v,\ j=p \text{ et } c=d \\ 2\sigma^2_\epsilon, & \text{si } \begin{array}{l} i=v,\ j=p \text{ et } c\neq d \text{ ou} \\ i=p,\ j=v \text{ et } c,d \text{ qcq.} \end{array} \\ \sigma^2_\epsilon, & \text{si } \begin{array}{l} i=v,\ j\neq p \text{ et } c,d \text{ qcq. ou} \\ i\neq v,\ j=p \text{ et } c,d \text{ qcq. ou} \\ i\neq p,\ j=v \text{ et } c,d \text{ qcq. ou} \\ i=p,\ j\neq v \text{ et } c,d \text{ qcq.} \end{array} \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases} \tag{7.4}$$

$$E\left(\epsilon^{c}_{ij}\cdot\epsilon^{c}_{vp}\right) = E\left(\epsilon^{c}_{iji}\cdot\epsilon^{d}_{vp}\right) = E\left(\epsilon^{c}_{iji}\cdot\epsilon^{d}_{vpv}\right) \tag{7.5}$$

$$E\left(\epsilon^{c}_{iji}\cdot u^{c}_{ijt}\right) = 0 \tag{7.6}$$

$i, j, v, p = 1,\ldots, N\ ;\ i\neq j\ ;\ v\neq p\ ;\ c, d = 1,\ldots, 4.$

7.3 TRANSFORMATION DE BOX-COX

La transformation de Box-Cox est définie comme suit:

$$X^{(\lambda)} = \begin{cases} (X^{\lambda}-1)/\lambda, & \text{si } \lambda\neq 0 \\ \ln(X), & \text{si } \lambda = 0. \end{cases}$$

L'importance de la transformation de Box-Cox sur des variables explicatives et dépendantes pour un modèle de tranport fut établie par Gaudry et Wills (1978). Plus récemment Dagenais et al. (1987) ont développé un algorithme pour résoudre des modèles de régression comportant la transformation de Box-Cox sur les variables dépendantes et indépendantes en tenant compte de l'autocorrélation multiple et de l'hétéroscédasticité des résidus. Lamirande (1987) a montré l'importance de la transformation de Box-Cox en formulant avec notre échantillon un modèle explicatif des allers-retours qui ne comprenait qu'une mesure très simple de niveau de service (en l'absence d'une procédure d'agrégation des itinéraires). Des transformations très différentes de la transformation logarithmque furent obtenues pour plusieurs variables explicatives et la variable dépendante. Nous comptons étudier dans un avenir rapproché la forme fonctionnelle des variables comprises dans le modèle ANITA.

7.4 SELECTION DES ITINERAIRES

La procédure d'agrégation retenue s'est avérée fort utile. L'estimation des paramètres du modèle de répartition a été faite à partir des itinéraires choisis par les voyageurs, donc d'une mesure beaucoup plus faible que l'ensemble des itinéraires possibles dans le réseau aérien. Toutefois dans un contexte de prévision un problème se pose: quels itinéraires retenir pour construire la variable du niveau de service? En principe tout itinéraire aura toujours une part de marché non-nulle à cause de la forme fonctionnelle de l'équation de répartition. Une proportion minimale pourrait être choisie à partir de certaines observations avec les résultats déjà obtenu. Toutefois nous considérons qu'une étude théorique qui porterait sur la sélection de l'échantillon pour la construction du niveau de service serait souhaitable.

7.5 INVERSE POWER TRANSFORMATION

Nous avons fixé les paramètres de l'I.P.T. lors de l'estimation du modèle ANITA à des valeurs telles qu'il peut se confondre à un modèle logit. Deux propriétés intéressantes du modèle I.P.T. sont ainsi délaissées:

i) un niveau minimal de la part des itinéraires. Cet effet provient du paramètre μ;
ii) une réaction asymétrique de la part des itinéraires suit à des modifications de leurs caractéristiques.

Il serait intéressant entre autres d'étudier les relations entre ces deux propriétés et la sélection des itinéraires. Avec des valeurs autres que celles du logit une redéfinition du niveau de service serait nécessaire.

CONCLUSIONS

Cette thèse a servi à démontrer la possibilité et la pertinence d'utiliser l'information désagrégée des transporteurs au lieu de se limiter aux flux totaux observés (les allers). Plusieurs tests statistiques indiquent l'importante amélioration des résultats qui proviennent de l'échantillon où l'on distingue les voyages selon la connaissance du lieu de résidence par rapport à un échantillon usuel où une telle distinction n'a pas lieu. Plus présicément, nous avons montré que:

L'agrégation proposée des valeurs des variables explicatives du réseau aérien s'est avérée fort utile. Les grandeurs raisonnables des élasticités des variables du réseau aérien en témoignent;

Tant au niveau de la valeur de la fonction de vraisemblance que des élasticités calculées pour les variables réseaux il semble nécessaire d'effectuer une estimation des paramètres de l'équation de répartition simultanément à l'estimation des paramètres des équations de niveau;

Il appert qu'une spécification pour les allers avec des variables des réseaux qui tiennent compte, implicitement ou explicitement, de la direction opposée du déplacement est nettement préférable à une définition des mêmes variables uniquement pour la direction des allers. Puisque les déplacements d'une ville à l'autre comprennent les allers-retours T_{ij} et T_{ji} alors il est nécessaire d'inclure des variables réseaux pour les deux directions dans la spécification d'un modèle des allers;

Contrairement aux variables réseaux la distinction entre effet directionnel et non-directionnel pour les variables socio-économiques n'est pas supporté empiriquement. Ceci peut contribuer à expliquer pourquoi il y a autant d'auteurs qui ont utilisé la formulation NS que DPS;

Des différences importantes du point de vue des valeurs de la fonction de vraisemblance et des élasticités résultent entre l'estimation du modèle ANITA avec et sans contraintes. La reconnaisance du lieu de résidence des voyageurs semblent donc être très importante.

BIBLIOGRAPHIE

ABRAHAMS, M.B., **A simultaneous Equation Estimation of Air Travel Demand**, thèse de doctorat, University of California, 1980, 91 p.

ANDRIKOPOULOS, A.A. et T. BAXEVANIDIS, "Interurban demand for air-travel services: the case of Canada", **International Journal of Transport Economics**, vol.VIII (3), décembre 1981, pp. 339-350.

BALESTRA, P. et M. NERLOVE, "Pooling cross-section and time series data in the estimation of a dynamic model: the demand of natural gas", **Econometrica**, 34, juillet 1966, pp. 585-612.

BOWER, L.L., "Elasticity of air travel demand with respect to airport access cost", **Transport Research**, 10, 1976, pp. 193-199.

BROWN, S.L. et S. WATKINS, "The demand for air travel: a regression study of time-series and cross-sectional data in the U.S. domestic market", **Highway Research Record**, numéro 213, 1968, pp. 21-34.

BURNETT, P. et S.HANSON, "The analysis of travel as an example of complex human behavior in spatially-constrained situations: definition and measurement issues", **Transport Research**, vol.16 A no.2, pp. 87-102.

BIBLIOGRAPHIE

Commission Canadienne des Transports [Rea, J.C., Dahl, M.D., Hooper, T.J., Ku, K.D., Platts, J.B., Ranger, L.J., Wills, M.J.], **Intercity passenger transport in Canada: analysis of the consequences of alternative pricing and network strategies**, Rapport de recherche 254, 1976.

CROW, R., K.H.YOUNG et T.COOLEY, **Models of intercity travel demand part I Theoretical Aspects**, Mathematica Inc., juin 1971, 89 p.

DAGENAIS, M.G., M.J.I. GAUDRY et T.C. LIEM, "Urban travel demand: the impact of Box-Cox transformations with nonspherical residual errors", **Transportation Research B** 21, 6, p.443-487, 1987.

DARROW, D.F. et F.R. WILSON, "Air travel demand for atlantic Canada", **Tribune de l'ARTC**, vol. 2, numéro 4, , pp.21-25.

DE VANY, A., "The revealed value of time in air travel", **Review of Economics and Statistics**, vol.66, no.1, février 1974.

DE VANY, A., "The effect of price and entry regulation on airline output, capacity, and efficiency, 6, Bell Journal of Economics 327, 1975, pp.329-334.

DOMENCHICH T.A., G. KRAFT et J.-P. VALETTE, "Estimation of urban travel behavior: an economic demand model", in **Transportation System Evaluation.** Highway Research Record 238, Washington, 1968, pp. 64-78.

ERICKSEN, S.E., J.C. SCALEA et N.K. TANEJA, **A methodology for determining the relationship between air transportation demand and the level of service**, FTL Report R76-3, Massachusetts Institute of Technology, janvier 1976, 42 p.

BIBLIOGRAPHIE

GAUDRY, M.J.I., "The Inverse Power transformation logit and dogit mode choice models", Transportation Research B 15, 2, 1981.

GAUDRY, M.J.I., M. DAGENAIS, **Can agregate demand work?**, Proceeding of the World Conference on Transportation Research, 1986, Center for Transportation Studies, University of British Columbia, p.1669-1676.

GAUDRY, M.J.I. et R. LAFERRIERE, "Testing the IPT-BL", Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, à paraître en 1988.

Gaudry, M.J.I. et M.J. Wills, "Estimating the functional form of travel demand models", **Transportation Research** 12, 1978.

GRONAU, R., **The value of travel time. Theory and measurement**, Croom Helm, London, 1970, 213p.

HAANAPPEL, P.P.C., "Some legal and economic aspects of canadian airline regulation", dans **Perspectives on canadian airline regulation**, Institute for Research on Public Policy, 1981.

HOWREY, E.P., "On the choice of forecasting models for air travel", **Journal of Regional Science**, vol.9 no.2, 1969, pp.215-224.

IPPOLITO, R.A., "Estimating airline demand with quality of service variables", **Journal of Transportation Economics and Policy**, janvier 1981, pp.7-14.

KANAFANI, A., G. GEOFFREY et S.TAGHAVI, "Studies in the demand for short haul air transport", **Institute of Transportation and**

Traffic Engineering University of California Berkeley, nasa cr 137764, octobre 1975, 57 p.

KEESLER, D.S., **Relationships between intercity air passengers and economic and demographic factors - A multiple linear regression analysis**, mémoire de maîtrise, Princeton University, 1965 , 184 p.

KLIMAN, M.L., "The setting of domestic air fares. A review of the 1975 hearings" , **Canadian Public Policy**, III:2, pp.186-198.

KRAFT, G. et M. WOHL, "New directions for passenger demand analysis and forecasting", **Transportation Research**, vol. 1, 1967, pp. 205-230.

LACROIX ,S.J., "Airline coupons and pricing adjustements", **Journal of Transportation Economics and Policy**, septembre 1984, pp. 253-264.

LANSIG, J.B., J.-C. LAO ET D.B. SUITS, "An analysis of interurban air travel", **Quarterly Journal of Economics**, fevrier 1961, pp. 87-95.

LONG, H.W., "City characteristics and the demand for interurban air travel", **Land Economics**, mai 1968,

LONG, H.W., "Airline service and the demand for intercity air travel", **Journal of Transport Economics and Policy**, 3(1969),pp. 287-299.

LONG,W.H., "The economics of air travel gravity models ", **Journal of Regional Science**, 10 (3) , 1970, pp. 353-363.

MAYBERRY, J., "Variants of abstract mode models", **Mathematica**, 1er juillet 1968.

BIBLIOGRAPHIE

MEYBURG, A.H., " An analysis of the relationships between intercity passenger transportation and the socio-economic characteristics of metropolitan areas", **Transportation Research Forum**, 1972, pp.271-284.

OLSON, C.V. et J.M. TRAPANI III, "Who has benefited from regulation of the airline industry", **Journal of Law and Economics**, 26, avril 1981, pp. 75-93.

MONSOD, C., "A cross-sectional model of the demand for rail passenger service in the Northeast Corridor", **Studies in Travel Demand**, vol. II, Mathematica, 1966, pp. 157-178.

OUM, T.H., D.W. GILLEN et D.S.E. NOBLE, **Demand for fareclasses and pricing in airline markets**, Research Report #8472, Wilfrid Laurier University, mai 1984, 36 p.

PEERS, J.B. et M. BEVILAQUA, "Structural travel demand models : an intercity application", **Transportation Research Board**, 569, 1976, pp.124-135.

PINTON, M.R., "Socioeconomic aspects", **Studies in Travel Demand**, vol. III, Mathematica, juillet 1967, pp. 75-109.

POLLACK, M., "Some elements of the airline fleet planning problem", **Transportation Research**, vol.II, 1977, pp. 301-310.

SOBIENIAK, J.W., **Forecasts of passenger travel in Canada's domestic long-haul air market**, Canadian Transport Commission, report 44, juillet 1972.

STOUFFER, S.A., "Intervenig opportunities : a theory relating mobility and distance", **American Sociological Review**, vol.5, no.6, 1940, pp. 845-867.

STRASZHEIM, M.R., "Airline demand functions in the north atlantic and their pricing implications", **Journal of Transportation Economics and Policy**, mai 1978, pp. 179-195.

TRAPANI, J.M. et V.OLSON, "An analysis of the impact of open entry on price and quality of service in the airline industry", **Review of Economics and Statistics**, ,pp. 67-76.

VERLERGER, P.K., "Models of the demand for air transportation", **Bell Journal of Economics**, automne 1972, pp. 437-457.

VOGT, IVERS et ass, **Social and economic factors affecting intercity travel**, National Cooperative Highway Research Program, 70, 1969.

WILLS, M.J., **Linear and nonlinear estimators of the O-D matrix**, thèse de doctorat au sépartement de géographie, University of British Columbia, 1978.

ANNEXE
QUELQUES PROPRIETES DE L'I.P.T.-L.

Une des propriétés intéressante du modèle de répartition I.P.T.-L. concerne la possibilité de pouvoir identifier des "variables" qui possèdent la même valeur pour toutes les alternatives d'un marché. Récrivons ci-dessous le modèle de répartition I.P.T.-L. utilisé dans cette thèse:

$$\frac{O_{ijt}}{O_{ij}} = \frac{[\,(\lambda_{I\,PT}\exp(Z_{ijt}\,\theta) + 1) + \mu_{I\,PT}\,]^{1/\lambda_{I\,PT}}\exp(u_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n_{ij}}[\,(\lambda_{I\,PT}\exp(Z_{ijv}\,\theta) + 1) + \mu_{I\,PT}\,]^{1/\lambda_{I\,PT}}\exp(u_{ijv})}, \qquad \text{(A-1)}$$

où

$Z_{ijt} = (F_{ijt}, P_{ijt}, H_{ijt}, 1.)$

$\theta' = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$.

Dans toutes les fonctions d'utilité représentative des itinéraires v d'un marché ij, $Z_{ijv}\,\theta$, apparaît la variable "constante" et le paramètre qui lui est associé (θ_4). Ce coefficient est identifiable si et seulement si $\lambda_{I\,PT} \neq 1$ et $\mu_{I\,PT} \neq -1$, auquel cas on obtient le modèle logit. En effet pour le modèle logit (A-1) devient

$$\frac{O_{ijt}}{O_{ij}} = \frac{\exp(Z_{ijt}\,\theta)\exp(u_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n_{ij}}\exp(Z_{ijv}\,\theta)\exp(u_{ijv})}$$

$$= \frac{\exp(F_{ijt}\theta_1 + P_{ijt}\theta_2 + H_{ijt}\theta_3 + u_{ijt})\exp(\theta_5)}{\sum_{v=1}^{n_{ij}}\exp(F_{ijv}\theta_1 + P_{ijv}\theta_2 + H_{ijv}\theta_3 + u_{ijv})\exp(\theta_5)}$$

$$= \frac{\exp(F_{ijt}\theta_1 + P_{ijt}\theta_2 + H_{ijt}\theta_3 + u_{ijt})}{\sum_{v=1}^{n_{ij}}\exp(F_{ijv}\theta_1 + P_{ijv}\theta_2 + H_{ijv}\theta_3 + u_{ijv})} \qquad \text{(A-2)}$$

L'équation (A-2) ne contient pas le paramètre θ_4 puisque le modèle logit ne permet pas l'identification de variables ayant les mêmes valeurs pour toutes les alternatives d'un marché. Donc pour le modèle logit l'introduction d'une constante dans toutes les fonctions d'utilité représentative ne change aucunement les parts (O_{ijt} / O_{ij}). Cependant tel n'est pas le cas pour le modèle I.P.T.-L. car la valeur de θ_4 influence les parts de la façon suivante: une augmentation de θ_4 implique une augmentation équivalente de toutes les fonctions d'utilité représentative de (A-1). Ce qui devrait hausser la part des itinéraires qui sont inférieurs à $1/n_{ij}$ et réduire la part des autres. Ce raisonnement provient du fait qu'à la limite ($\theta_4 \rightarrow \infty$) la part de tous les itinéraires serait égale à $1/n_{ij}$.

Nous avons choisit de spécifier des constantes différentes selon le nombre d'itinéraires dans un marché. Les fonctions d'utilité représentatives deviennent donc:

$$Z^c_{ijt}\theta = F_{ijt}\theta_1 + P_{ijt}\theta_2 + H_{ijt}\theta_3 + \theta_4, \text{ si } n_{ij} = 2$$

$$Z^c_{ijt}\theta = F_{ijt}\theta_1 + P_{ijt}\theta_2 + H_{ijt}\theta_3 + \theta_4, \text{ si } n_{ij} > 2.$$

On veut tester, avec cette spécification, si des facteurs autres que F_{ijt}, P_{ijt} et H_{ijt} influencent différemment la répartition des itinéraires pour les marchés avec deux itinéraires de ceux avec plus de deux itinéraires.